РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им. О.Ю. ШМИДТА
ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

Пособие для должностных лиц



ФЦНТП ПП «Безопасность»

Москва
1997

gost.e-ecolog.ru

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им. О.Ю. ШМИДТА
ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

Пособие для должностных лиц

Москва
1997

Брошюра подготовлена на основе результатов исследований, выполнявшихся в 1993-1995 гг. в рамках Государственной научно-технической программы "Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф", проект 2.2.1, в котором принимали участие следующие организации: Институт сейсмологии Объединенного Института физики Земли РАН, Научно-инженерный и координационный сейсмологический центр РАН, Институт земной коры СО РАН, Институт литосферы РАН, Институт проблем передачи информации РАН, Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций Минстроя РФ с участием Международной Академии информатики.

Брошюра предназначена в основном для должностных лиц, принимающих решения на городском, региональном или государственном уровнях, для планирующих органов, страховых компаний и др., а также для жителей сейсмоопасных районов.

В брошюре дается общее представление о сейсмической опасности, о последствиях сильных землетрясений, об уязвимости населения, зданий и сооружений, линий жизнеобеспечения в сейсмоопасных районах. Обсуждаются вопросы прямых и косвенных, вторичных и долгосрочных потерь от землетрясений и пути минимизации этих потерь. Разработанные методики могут быть использованы для оценки сейсмического риска в масштабе республики, края, области, района, города, поселка или отдельного объекта.

В качестве примера рассмотрен город Иркутск, для которого на основе анализа оценок сейсмической опасности территории города, данных о населении города и его инфраструктуре с использованием геоинформационных систем сделан прогноз некоторых видов ущерба.

Брошюра подготовлена группой специалистов в составе: канд. физ.-мат. наук Ф.Ф. Аптикаев, канд. техн. наук В.Г. Гитис, д. геол. мин. наук Г.Л. Кофф, канд. физ.мат. наук Н.И. Фролова.

Ответственный редактор:
член-корреспондент РАН Г.А. Соболев

ВВЕДЕНИЕ

Среди природных катастроф наиболее тяжелые последствия вызывают землетрясения. Для мира в целом ущерб от землетрясений превышает ущерб от всех остальных природных катастроф вместе взятых. По оценкам экспертов ЮНДРО и ЮНЕСКО, ежегодный ущерб от землетрясений составляет несколько десятков миллиардов долларов и во многих развивающихся странах поглощает значительную часть национального дохода. Одно катастрофическое землетрясение может унести до миллиона жизней и причинить ущерб до 100 млрд. долл. США. При этом негативные экономические последствия наблюдаются далеко за пределами территории, непосредственно пострадавшей от землетрясения. Процесс урбанизации ведет к увеличению материального ущерба от землетрясений. Если в прошлом десятилетии в эпицентральной зоне 8-балльного землетрясения на каждого жителя приходился средний убыток в 1500 долл., то теперь эта цифра достигает 30 000 долл.

Наглядны примеры ущерба, причиненного землетрясениями последних лет. В результате землетрясения средней силы в Нортридже (США) в 1994 г., происшедшего в относительно малонаселенном районе, прямой ущерб только линиям жизнеобеспечения превысил 2 млрд. долл. Данная величина отражает только затраты на ремонт поврежденных коммуникаций, а прогнозная оценка косвенного ущерба составляет на порядок большую величину.

Затраты на ремонтные работы после трех землетрясений в США (Сан-Фернандо 1971 г., Лома Приета 1989 г., Нортридж 1994 г.) составили 29 млрд. долл. (в ценах 1994 г.), что значительно меньше последствий землетрясения в Кобе (Япония) 1995 г.

Только прямой ущерб от разрушения жилых зданий в пос. Нефтегорск в результате землетрясения 28 мая 1995 г. превысил 230 млрд. руб. (в ценах на 1 июня 1995 г.). Усиление зданий до 7 баллов (без выселения жильцов) обошлось бы в 100 млрд. руб., а повышение сейсмостойкости еще в процессе возведения зданий составило бы 4-5% от стоимости строительства несейсмостойких зданий. Число погибших в результате землетрясения — 1989 человек, раненых — более 400 человек (при общей численности населения поселка около 3000 человек).

В табл. 1-3 в качестве примера анализируются последствия землетрясений последних лет, происшедших в районах с разными экономическим и социальным уровнями развития. Относительная величина потерь по отношению к валовому национальному продукту в среднем меньше в высокоразвитых странах.

В табл. 1-3 приведены данные о количестве *Nc* полностью обрушившихся зданий, количестве *Nd* серьезно поврежденных зданий и прямом ущербе в миллионах долл. США по курсу на момент землетрясения. Каждая из таблиц 1-3 соответствует определенному интервалу сейсмической интенсивности в районах, подвергшихся сейсмическим воздействиям (7, 8, 9 баллов соответственно). Оценки в процентах относятся к наиболее пострадавшей части рассматриваемой территории. Данные приводятся в порядке возрастания магнитуды *M*. Хорошо видно, что ущерб возрастает не только

Таблица 1. Ущерб, причиненный землетрясениями с интенсивностью 7 баллов на рассматриваемой территории

Район	Дата	*M*	*Nc*	*Nd*	*Nc+Nd*	Ущерб, млн долл.
Сицилия	7.06.1981	4.5	–	100	–	–
Кентукки, США	27.07.1980	4.8	–	306	–	2.0
Новая Зеландия	2.03.1987	5.3	–	–	–	85.0
Китай	6.11.1983	5.4	3300		–	–
Сальвадор	25.11.1986	5.4	≥29%	–	–	–
Калифорния	28.06.1991	5.4	–	–	–	33.5
Перу	5.04.1986	5.5	2000	–	–	–
Калифорния	13.08.1978	5.6	–	–	–	15.0
Турция	13.05.1986	5.6	1500	–	–	120.0
Болгария	7.12.1986	5.7	–	–	1300 (80%)	–
Орегон, США	21.09.1993	5.8	–	≥1000	–	7.5
Калифорния	24.04.1984	6.1	–	–	–	10.0
Перу	30.05.1990	6.5	6000 (30%)	–	–	–
Чили	8.08.1987	7.0	≥1000	–	–	–
Айдахо, США	28.10.1983	7.3	50	200	250	15.0

Примечание. Здесь и в последующих таблицах *M* — магнитуда землетрясения; *Nc* — число разрушенных зданий; *Nd* — число поврежденных зданий.

Таблица 2. Ущерб, причиненный землетрясениями с интенсивностью 8 баллов на рассматриваемой территории

Район	Дата	*M*	*Nc*	*Nd*	*Nc+Nd*	Ущерб, млн долл.
1	2	3	4	5	6	7
Бельгия	8.11.1983	4.3	–	сотни	–	–
Колумбия	31.03.1983	5.0	–	–	–	500.0
Италия	29.04.1984	5.4			1200	≥31.0
Нидерланды	13.04.1992	5.5				182.0
Албания	16.11.1982	5.6	329	2208	2537	–
Сальвадор	10.10.1986	5.6	≥34%	–	–	2000.0
Туркмения	14.03.1983	5.7	75%	–	–	–
Аргентина	26.01.1985	5.9		12 500	–	–
Таджикистан	13.10.1985	6.0			≥900; 90% кирпичных	–
Йемен	13.12.1982	6.1	–	300 деревень	–	90.0
Киргизия	15.05.1992	6.3			5500	22.4
Греция	20.06.1978	6.4	8287	13 918	22 205	190.0
Греция	9.07.1980	6.4	1085	4605	5690	–
Калифорния	2.05.1983	6.5	500	–	–	31.0

Таблица 2 *Окончание*

1	2	3	4	5	6	7
Греция	24.02.1982	6.7	≥150	–	–	900.0
Румыния	30.08.1986	6.9	12 500	42 500	55 000	–
Грузия	29.04.1991	6.9	–	–	95%	–
Индия	20.10.1991	6.9	201 800	74 714	275 514	–
Албания	15.04.1979	7.0				70.7
Чили	3.03.1985	7.6	45 000	76 000	121 000	1800,0
Япония	12.06.1978	7.6	1383	5524	6907	800.0
Япония	26.05.1983	7.9	943	–	–	600.0

Таблица 3. Ущерб, причиненный землетрясениями с интенсивностью 9 баллов на рассматриваемой территории

Район	Дата	*M*	*Nc*	*Nd*	*Nc+Nd*	Ущерб, млн долл.
1	2	3	4	5	6	7
Италия	29.04.1984	5.4	1200	–	–	≥31.0
Греция	13.09.1986	5.7	1500 (47%)	1050	2550 (80%)	800.0
Марокко	29.02.1960	5.8	80%	–	–	–
Сицилия	15.01.1968	5.9	–	–	–	320.0
Ливан	16.03.1956	6.0	6000	–	–	–
Югославия	26.07.1963	6.1	700	1800	2500	500.0
Никарагуа	28.12.1972	6.2	–	–	50 000 (75%)	2000.0
Греция	4.03.1981	6.3	250	–	–	500.0
Италия	6.05.1976	6.5			11 000 (98%)	3600.0
Новая Зеландия	2.03.1987	6.5	–	–	–	200.0
Турция	19.08.1966	6.7	19 000	–	–	35.0
Армения	7.12.1988	6.7	100%	–	–	17 000.0
Пакистан	1.02.1991	6.8	5187	79 900	85 087	–
Иран	10.04.1972	6.8	100%	–	–	5.0
Индия	19.10.1991	6.9	20 186	74 714	94 900	–
Китай	16.03.1925	7.0	≥70 000 (90%)	–	–	–
Китай	1.08.1937	7.0	≥30 000	–	–	–
Югославия	15.04.1979	7.0	70%	–	–	2200.0
Мексика	24.10.1980	7.0	90%	–	–	–
Иран	21.06.1990	7.1	100%	–	–	7200.0
о. Гуам, США	8.08.1993	7.1				115.0
Турция	28.03.1970	7.2	13 795	5586	19 386	97.0
Иран	1.09.1963	7.2	–	–	199 500	30.0
Турция	24.11.1976	7.2	–	–	9282 (95%)	25.0
Румыния	4.03.1977	7.2	32 900 квартир	–	–	≥2000.0

Таблица 3 *Окончание*

1	2	3	4	5	6	7
Калифорния	18.10.1989	7.2	1300	20 881	22 181	8000.0
Узбекистан	19.03.1984	7.2	–	50%	–	–
Япония	16.01.1995	7.2			98 960	200 000.0
о.Сахалин	28.05.1995	7.2				52.2
Иран	31.08.1968	7.4	12000			40.0
Алжир	10.10.1980	7.5	80%			3000.0
Киргизия	19.08.1993	7.5	8200			
Гватемала	4.02.1976	7.5			25 4750	1100.0
Турция	1.02.1944	7.5	50 000			
Иран	16.09.1978	7.6	≥15 000			11,0
Китай	27.07.1976	7.8	98%			6000.0
Мексика	19.09.1985	8.1	412	3124	3536 (60%)	5000.0

Таблица 4. Сравнительная оценка потерь от землетрясений за последние десятилетия по данным страховой компании Munich Re

Десятилетия	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1986-1995
Число событий	5	14	16	16
Экономические потери	11.5	43.5	69.5	177
Страховые выплаты	92	747	3500	18500

Примечание. Оценки потерь даются в млрд долл. США в ценах 1994 г.

при увеличении балльности, но и при возрастании магнитуды. Последнее связано с тем, что с ростом магнитуды возрастают и площади, подверженные воздействиям каждой интенсивности.

На рис. 1 приведены оценки потерь от землетрясений за год и за десятилетия, сделанные по мировым данным страховой компании Munich Re [*Smolka,* 1995]. В табл. 4 приводятся данные о сейсмической активности (увеличение число событий) и увеличении потерь от землетрясений за последнее десятилетие: так число событий с тяжелыми последствиями во всем мире по сравнению с 60-ми годами увеличилось в 3.2 раза, а объем потерь возрос в 15.4 раза.

Анализ причин увеличения потерь говорит о том, что это — далеко не случайное явление, а необратимые последствия быстрого роста населения, промышленности, инфраструктуры, коммерческой и экономической деятельности в крупных городах и промышленных центрах, расположенных в сейсмоактивных регионах. Это приводит к выводу о необходимости инвестирования работ по стратегии уменьшения потерь от землетрясений до того, как произойдет землетрясение, а не расходовать во много раз больше в период реагирования и восстановления после него.

Реализация стратегии осуществляется в соответствии с планами превентивных мероприятий, подготавливаемыми под руководством администрации соответствующих регионов, городов или областей совместно с заинтересованными министерствами и организациями.

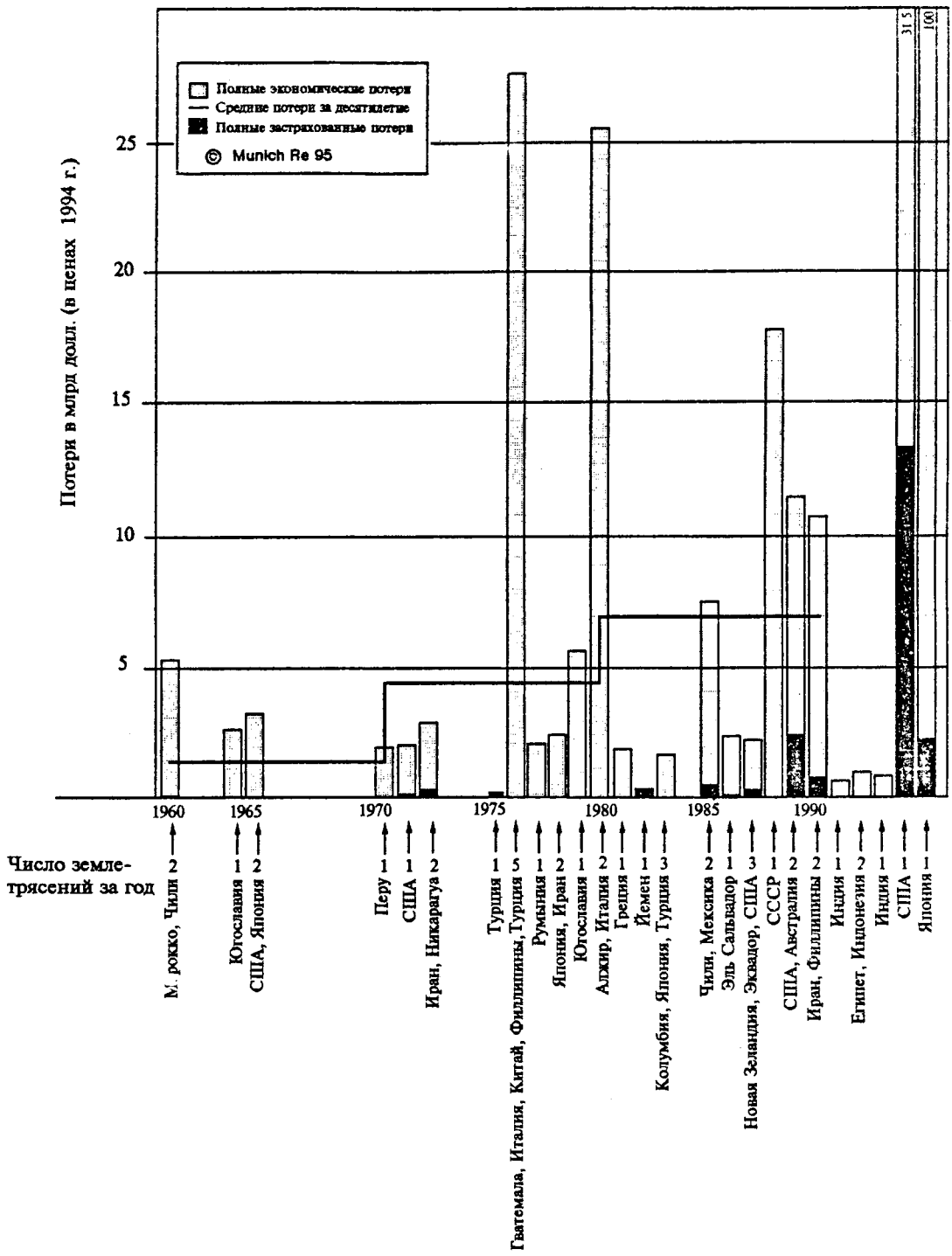

Рис. 1. Динамика роста потерь от катастрофических землетрясений за период 1960-1995 гг. по данным страховой компании в Мюнхене

В нашей стране после крупных сейсмических катастроф последних лет заметно повысилось осознание сейсмической опасности, предпринимаются конкретные шаги по улучшению планирования, созданию современных строительных норм и правил, уточнению оценок сейсмической опасности отдельных территорий, развитию стратегии уменьшения последствий землетрясений, образованию и обучению населения. Однако в тех районах, где на протяжении последних лет сильные землетрясения не напоминали о себе, такие подготовительные мероприятия, как правило, не проводятся.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Благодаря усилиям международных организаций, в первую очередь ЮНЕСКО и ЮНДРО, в настоящее время выработаны общие принципы борьбы со стихийными бедствиями любой природы: землетрясениями, ураганами, наводнениями, извержениями вулканов и др. [*Co-operative...*, 1991; *Mitigating...*, 1991; *Proc. of UNDRO,* 1994]. На этих принципах разрабатываются методы уменьшения ущерба от стихийных бедствий в разных странах. Для всех методов основными понятиями являются *ОПАСНОСТЬ, УЯЗВИМОСТЬ, РИСК.*

Под ***сейсмической опасностью*** понимается вероятность появления сейсмических воздействий определенной силы на заданной площади в течение заданного интервала времени. Сейсмические воздействия выражаются в баллах шкалы сейсмической интенсивности, амплитудах колебаний грунта или иных характеристиках, используемых инженерами-проектировщиками.

Уязвимость определяется как отношение стоимости ремонта (восстановления) к общей стоимости соответствующего элемента риска. Уязвимость изменяется от 0 (отсутствие повреждений) до 1.0 (полное разрушение). Уязвимость не зависит ни от выбора валютной единицы, ни от уровня инфляции. Зная текущую стоимость элемента риска, легко перейти к ущербу в денежном выражении. Под ***элементами риска*** понимается все находящееся на рассматриваемой территории — люди, инженерные сооружения гражданского и промышленного назначения, линии жизнеобеспечения, другие составляющие инфраструктуры, экономическая и коммерческая деятельность и т.д. Зависимость степени повреждений от силы воздействий (степени сейсмической опасности) называется ***функцией уязвимости.***

Сейсмический риск — вероятность социального и экономического ущерба, связанного с землетрясениями на заданной территории в течение определенного интервала времени.

Сейсмический риск, сейсмическая опасность и уязвимость связаны соотношением

$$R = H \times V,$$

где R — сейсмический риск (от английского *risk*); H — сейсмическая опасность (от английского *hazard*); V — уязвимость (от английского *vulnerability*).

Оценки сейсмической опасности и сейсмического риска — не самоцель, а необходимые этапы для проведения мероприятий по снижению потерь от землетрясений. Эти мероприятия можно подразделить на следующие категории:

- оптимизация планировочных решений, т.е. размещение объектов в наиболее безопасных в сейсмическом отношении местах;
- техническая мелиорация грунтов: улучшение их несущей способности и сейсмических характеристик;
- снижение уязвимости элементов риска, в частности снос объектов с высокой уязвимостью, укрепление или перепрофилирование объектов с недостаточной сейсмостойкостью, проектирование новых объектов с приемлемой уязвимостью;
- мероприятия социального характера, в частности обучение населения и специалистов необходимым действиям до, во время и после землетрясения;
- подготовка планов превентивных мероприятий и их реализация.

В большинстве стран с высоким уровнем сейсмической опасности страхование от землетрясений рассматривается как составная часть комплекса мероприятий по уменьшению ущерба и сокращения сроков ликвидации негативных последствий [*Earthquakes...*, 1992; *Кофф и др.*, 1995]. При обязательном страховании от землетрясений страховые ставки, зависящие от местоположения объекта, грунтовых условий, типа сооружения, качества строительства служат экономическим регулятором для разумного размещения объектов и обеспечения достаточной сейсмостойкости.

Социально приемлемое снижение риска, зависящее от уровня развития общества, находит свое отражение в законодательных актах и строительных нормах и правилах.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ

По определению, сейсмическая опасность оценивается в терминах распределения вероятности сейсмических воздействий (в баллах шкалы сейсмической интенсивности и в параметрах колебаний грунта) по их силе в пространстве и времени. При оценке сейсмической опасности необходимо определить:

- места возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ);
- силу этих землетрясений;
- частоту повторения землетрясений;
- ожидаемые параметры сейсмических воздействий.

Для этого проводятся работы по сейсмическому районированию, которое в России подразделяется на три вида: ***общее сейсмическое районирование*** (ОСР), ***детальное сейсмическое районирование*** (ДСР) и ***сейсмическое микрорайонирование*** (СМР). Различие между ОСР, ДСР и СМР заключается в содержании задач, методиках их решения и, главное, в объектах изучения. Эти различия обуславливают различные масштабы картирования.

Задача ОСР — изучение крупных сейсмогенерирующих структур, определяющих сейсмичность регионов. С помощью оценок сейсмической опасности, приведенных на карте ОСР, можно прогнозировать повреждения объектов массовой застройки. Предполагается, что существенный ущерб от повреждения объектов такого типа вызывается землетрясениями с магнитудами $M \geq 6.1$. Генерализация, свойственная ОСР, соответствует задаче выделения крупных сейсмогенерирующих зон, повышает надежность средних

оценок опасности в этих зонах, т.е. предлагает то, что нужно для планирования мероприятий по уменьшению сейсмического риска в государственном и региональном (субрегиональном) масштабах. ОСР проводится на основании данных сейсмологии, геологии, геофизики, геодезии и других областей науки [*Методические...*, 1974; *Сейсмическое...*, 1980].

Цель ДСР — изучение сейсмогенерирующих структур, представляющих опасность для конкретного объекта. Необходимость более детальных исследований связана с особой ценностью объекта и/или с тем, что повреждение объекта может представлять угрозу для здоровья и жизни людей и окружающей среды, нанести существенный материальный ущерб. Под объектом при ДСР понимается как отдельное сооружение, так и комплекс сооружений, населенный пункт или район перспективного народнохозяйственного освоения.

Методическими рекомендациями по ДСР предусмотрено проведение ДСР двух классов [*Методические...*, 1986]. ДСР I-го класса проводится в радиусе 25 км от внешней границы объекта без ограничений по рангу картируемых структур. При ДСР II-го класса картируются зоны ВОЗ с $M \geq 5.1$ в радиусе до 100 км. Значения радиусов выбраны так, чтобы землетрясения с магнитудами $M \leq 5.1$ на расстоянии свыше 25 км и с $M \leq 6.1$ на расстоянии свыше 100 км вызывали сотрясения на площадке объекта со средними грунтовыми условиями не более 6 баллов с вероятностью 0.9.

При ОСР и ДСР изучаются зоны ВОЗ, т.е. источники сейсмической опасности, а также локальные зависимости параметров сейсмических воздействий от расстояния и характеристик очагов и среды. При ОСР основным элементом карты является балл шкалы сейсмической интенсивности; при ДСР, кроме того, производится прогнозная оценка параметров сейсмических колебаний: максимальных амплитуд ускорений, скоростей, смещений, спектрального состава и продолжительности колебаний.

Задача СМР состоит в оценке влияния местных грунтовых условий на очаговое сейсмическое воздействие [*Джурик и др.*, 1988]. Под местными условиями понимаются особенности рельефа, состав и строение среды, наличие грунтовых вод и другие факторы, влияющие на сейсмический эффект. Влияние местных условий нельзя рассматривать в отрыве от характеристик очаговых воздействий, изучаемых при ДСР. Влияние местных условий может быть различным в зависимости от углов подхода сейсмических волн, их поляризации, спектров и др. Особое внимание при СМР уделяется прогнозу вторичной геологической опасности, связанной с землетрясениями (разжижение грунта, просадки, оползни, обвалы и др.).

ОСР, ДСР, СМР являются составными частями работ по оценке сейсмической опасности. Результаты работ по оценке сейсмической опасности представляются в виде карт, как правило, в изолиниях сейсмических воздействий с определенной повторяемостью.

При выборе параметров сейсмических воздействий применительно к условиям России следует принимать во внимание следующие обстоятельства:

1. В существующих ныне строительных нормах и правилах балл сейсмической шкалы используется в качестве определяющего параметра сейсмической опасности.

2. Балл сейсмической шкалы хотя и является в известной мере описательной характеристикой, однако, будучи оцениваемым по степени повреждений зданий и сооружений, прямо описывает сейсмический эффект.

3. В отличие от весьма малочисленных инструментальных данных о колебаниях грунтов при сильных землетрясениях имеется значительный объем макросейсмических данных о степени повреждений различных объектов, допускающих их статистическую обработку и выдачу результатов в вероятностном виде, необходимом при оценках сейсмического риска [*Ляхтер и др.*, 1978; *Ляхтер, Фролова,* 1983; *Ляхтер, Иващенко,* 1986; *Штейнберг и др.*, 1993].

Поэтому балл сейсмической шкалы остается и в будущем в качестве одной из основных характеристик сейсмических воздействий.

На разных стадиях работ по оценке сейсмической опасности используются следующие исходные данные.

1. Для выявления зон ВОЗ:
   - исторические сведения о землетрясениях;
   - результаты инструментальных сейсмологических наблюдений;
   - геоморфологические признаки, в том числе палеосейсмологические данные;
   - данные о разломной тектонике;
   - интенсивность новейших и современных движений земной коры по геологическим данным;
   - интенсивность современных движений земной коры по геодезическим данным;
   - аномалии геофизических и других полей.
2. Для оценки максимальной магнитуды землетрясения:
   - исторические сведения о землетрясениях;
   - результаты инструментальных сейсмологических наблюдений;
   - оценки мощности сейсмоактивного слоя;
   - данные о корреляции максимальных магнитуд с сейсмической активностью;
   - данные о корреляции максимальных магнитуд с размерами геологических структур или элементами этих структур;
   - сведения о корреляции максимальных магнитуд с характеристиками аномальных зон, выделенных с применением методов геологии, геофизики, геохимии, геодезии.
3. Для оценки повторяемости сотрясений:
   - исторические сведения о землетрясениях;
   - результаты инструментальных сейсмологических наблюдений;
   - ограниченно, сведения о тектонике и палеосейсмологии;
   - данные о характере трещиноватости горных пород;
   - данные о количестве речных террас.
4. Для оценки сейсмических воздействий:
   - данные о корреляции параметров движений грунта с баллами шкалы сейсмической интенсивности и др. макросейсмическими признаками;
   - записи сильных движений при местных землетрясениях;
   - записи слабых местных землетрясений, экстраполированные в область сильных движений по эмпирическим закономерностям;

- расчетные оценки с использованием корреляционных соотношений между параметрами сейсмических воздействий и характеристиками очагов (магнитуда, глубина, расстояние, "жесткость" подвижки, т.е. соотношение низкочастотной и высокочастотной составляющих сейсмического излучения, тип подвижки, характеризующийся коэффициентом Лоде-Надаи, скорость развития разлома, сброшенное напряжение), тип среды, вмещающей очаг (осадочный чехол, кристаллический фундамент, кора, верхняя мантия), геофизические характеристики среды, вмещающей очаг (плотность, скорости распространения сейсмических волн), раздробленность среды (количество разломов на единицу площади), простирание геологических структур, коэффициенты уравнения макросейсмического поля, коэффициенты уравнений волновых полей, резонансные и другие свойства грунтов.

При оценке потерь от землетрясений необходимо учитывать не только опасность, связанную с разрывами на дневной поверхности и сейсмическими колебаниями, но и другие виды геологической опасности, спровоцированные землетрясениями.

ВТОРИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Землетрясения сопровождаются многочисленными вторичными последствиями (табл. 5), ущерб от которых может быть весьма существенным. Известны случаи, когда именно вторичные процессы ответственны за основную массу жертв и убытков.

Таблица 5. Последствия вторичных воздействий землетрясений

Травматизм и гибель людей
Дополнительная заболеваемость людей
Дискомфортные условия для людей
Разрушения зданий и сооружений
Потери крова
Потери имущества
Повреждение паропроводов и других наземных коммуникаций
Повреждение воздушных линий
Повреждения подземных коммуникаций и коммуникаций внутри домов
Завалы
Завалы дорог
Затопление территории
Нарушение транспортной доступности
Загрязнение территории
Загрязнение нефтепродуктами
Гибель растительности
Взрыв
Пожар
Нарушение системы медицинского обслуживания
Нарушение работы аварийных служб
Нарушение системы жизнеобеспечения

При землетрясении в сентябре 1923 г. большая часть жителей Токио погибла от пожара, а не от обрушения легких домиков. Землетрясение 23 января 1556 г. в провинции Щэньси сопровождалось гибелью 830 тыс. человек из-за обвалов лессовых пещер. Во время землетрясения 31 мая 1970 г. в Перу, на склоне горы Уаскаран, в 130 км от очага землетрясения, сотрясения расшатали скалы и лед, превратившиеся в каменно-ледяную лавину. Промчавшись со скоростью 200 км/ч по длинной долине, лавина разрушила 2 городка, погибло 25 тыс. человек — почти все население.

Во время землетрясения 1971 г. в Сан-Фернандо возникли сотни малых оползней в горах Сан-Габриэль, разрушивших дороги, дома и различные сооружения.

Отклики Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 г. и двух сильных 7-балльных афтершоков (9 и 24 мая) 5 июня 1966 г. вызвали проседание гребня плотины озера Яцинкуль в Средней Азии. 18 июня произошел прорыв плотины, в результате которого огромная масса воды объемом 6.5 млн $м^3$, разрушив центральную часть плотины, выдавив и размыв около 3 млн $м^3$ грунта, обрушилась в долину реки Тегермеч. Прорывный паводок трансформировался через 1.5 км от завала в водокаменный сель высотой до 12 м.

В качестве основных принципов систематизации вторичных воздействий и последствий землетрясений используются: генезис, последовательность, направленность, продолжительность, распространенность (табл. 6). По генезису все вторичные воздействия и последствия можно объединить в две группы: природные и техногенные, хотя последствия при этом могут быть природными, природно-техногенными, техногенными, социальными.

Вторичные воздействия и, соответственно, их последствия могут возникать сразу в момент подземных толчков. Например, завал от разрушенного здания одновременно может стать причиной нарушения транспортной доступности. В последующие часы возникают последствия второго и последующих уровней: нарушение работы служб аварийной и медицинской помощи и связанные с этим дополнительные человеческие жертвы и т.д.

По продолжительности вторичные последствия делятся на мгновенные (смерть человека, разрушение здания от взрыва), кратковременные (пожар в разрушенном при землетрясении доме) и длительные, которые часто носят скрытый характер, например хронические заболевания, вызываемые психическим травматизмом в момент землетрясения и в связи с потерей близких. Другим примером может служить сейсмогенное оживление оползня через 2-3 недели после землетрясения.

Характеру воздействий соответствует и тип вызываемых ими последствий: необратимые (например, катастрофическое поражение людей ядовитыми веществами), трудно обратимые (завал дороги и до.) и обратимые (повреждения растительности и др.).

Последствия в соответствии с характером объектов и их устойчивостью к тому или иному виду вторичного воздействия могут проявляться на значительной площади (затопление, загрязнение территории), носить локальный площадной (завал) или линейный характер (повреждение подземных коммуникаций и др.).

Таблица 6. Систематизация последствий вторичных воздействий землетрясений

Основные принципы систематизации	Воздействия	Последствия
По генезису	Природные	Природные Природно-техногенные Техногенные Социальные
	Техногенные	Природно-техногенные Техногенные Социальные
По последовательности возникновения	В момент подземных толчков	Первичные (первого уровня)
	В течение 2-3 ч после подземных толчков	Вторичные (второго уровня)
	Спустя 3 ч после подземных толчков	Третичные (третьего уровня)
По направленности	Непосредственные	Прямые
	Опосредованные	Косвенные
По продолжительности явления	В момент воздействия	Мгновенные
	В течение 2-3 ч после воздействия	Кратковременные
	До конца ликвидации последствий	Длительные
По интенсивности	Допустимые	Обратимые
	Ликвидируемые	Трудно обратимые
	Катастрофические	Необратимые
По характеру распространения	Определяются не только интенсивностью воздействия, но и параметрами реципиентов	Локальные Линейные Площадные

В городе, когда землетрясение может стать причиной аварий на многих объектах, возникает чрезвычайная ситуация в виде цепной реакции воздействий и их последствий на различных уровнях.

Вторичные воздействия приносят огромный ущерб, оценка которого в настоящее время — трудно выполнимая задача из-за сложных связей и многообразия внутренних и внешних факторов, одновременно влияющих на ущерб.

УЯЗВИМОСТЬ

В крупных городах наиболее остро возникает проблема уязвимости населения. Чем больше город, тем быстрее он развивается и тем сложнее проблемы совершенствования управления и контроля. Спрос на землю в черте города и за его пределами порождает географическую экспансию. Зна-

чительная часть городского населения может проживать в районах, подверженных различным видам природных опасностей.

Когда происходит сильное землетрясение, намного труднее организовать поисковые, спасательные и восстановительные работы в крупных городах с недостаточно обоснованным с точки зрения сейсмической опасности развитием территории и строительством.

Уязвимость городского жилья во время землетрясений существенно зависит от типа застройки и инфраструктуры города. Разные типы зданий характеризуются разной уязвимостью. Например, кирпичные здания чаще разрушаются при землетрясениях под воздействием сильных колебаний грунта, нежели более легкие сооружения или железобетонные каркасные сооружения. Оценки уязвимости разных типов сооружений часто используется для прогноза числа погибших и раненных при ожидаемом событии, поскольку между ними существует сильная корреляция.

Ниже приводится перечень зданий, сооружений и элементов инфраструктуры наиболее уязвимых при природных катастрофах:

- старые жилые здания, построенные по устаревшим строительным нормам и правилам, и, как правило, плохо сохранившиеся к настоящему времени;
- здания, построенные до введения специальных требований по контролю качества строительства;
- спонтанно возникшая застройка в районах с потенциальной сейсмической и вторичной геологической опасностью, где здания спроектированы и построены без учета мероприятий по сейсмостойкости;
- современные здания и сооружения, построенные по проектам, не отвечающим требованиям действующих нормативных документов, и характеризуемые низким качеством строительства;
- медицинские учреждения, не рассчитанные на прием большого количества пострадавших от землетрясения;
- школы и другие общественные здания, построенные по устаревшим нормам и правилам;
- мосты и путепроводы, насыпи и дренажные трубы, построенные по проектам, не отвечающим требованиям действующих нормативных документов, получают серьезные повреждения во время землетрясений и затрудняют эвакуацию пострадавших, передвижение спасателей, доставку предметов первой необходимости в пострадавшие районы; к такому же эффекту приводят и узкие улицы, заваленные после землетрясения разрушенными домами;
- системы водоснабжения;
- канализационные системы;
- линии электропередач и системы энергоснабжения;
- газовые магистрали.

Повреждение зданий и сооружения, а также отдельных элементов инфраструктуры оказывает на население как непосредственное, так и долгосрочное воздействие. Прямой эффект состоит в гибели людей и получении травм и ранений от обрушения зданий и сооружений во время землетрясения. Долгосрочный эффект связан с болезнями, потерей трудоспособности, гибелью людей из-за отсутствия или недостаточной медицинской помощи,

неэффективной эвакуацией пострадавших, недостатком временного жилья и запасов воды, продовольствия, электричества и топлива.

Экономические потери, вызываемые землетрясениями и сопровождающими его явлениями и процессами, подразделяются на прямые и косвенные, вторичные и долгосрочные.

Прямой экономический эффект. Прямой экономический эффект (потери) вызывается повреждением отдельных элементов инфраструктуры, повреждением или разрушением материальных ценностей, зданий и сооружений во время землетрясения; эти потери относительно легко можно рассчитать и составить сценарий землетрясения определенной интенсивности.

С развитием городской застройки возрастают промышленные и производственные мощности. Соответственно становится больше риск прямых потерь.

Косвенные экономические потери. Косвенные экономические потери связаны с нарушением сроков и объемов производства (из-за потери здоровья и гибели рабочих, сбоев в функционировании элементов инфраструктуры и сферы обслуживания), с нарушением коммерческой и финансовой деятельности, сокращением расходов и объемов потребления населением. Эти факторы могут вызвать цепную реакцию уменьшения доходов и увеличения безработицы.

Даже незначительное событие, которое может вызвать повреждения одного или двух мостов или железнодорожных путей, может повлечь за собой значительные сбои (задержки) в работе транспорта. Потенциальные экономические потери, связанные с задержками транспорта или нарушением транспортных систем, могут быть оценены через стоимость ежедневных потерь в торговле и коммерции.

По мере снижения товарооборота косвенные потери увеличиваются, что может привести к экономической депрессии. Например, землетрясение в январе 1994 г. в Нортридже (США) привело к потери прибыли в размере 308 млн долл. только от отказа туристов посетить Лос Анжелес в 1994 г.

Вторичные экономические потери. Они возникают как следствие других эффектов самого события:

- нарушения в снабжении водой или в функционировании общественного здравоохранения, повышающие риск возникновения эпидемий;
- недостатка продовольствия или других товаров, ведущего к увеличению роста цен и, возможно, инфляции;
- сокращения объемов финансирования социальной сферы, образования, экономической деятельности из-за сокращения доходов и необходимости финансирования восстановительных и строительных работ;
- увеличения цен из-за повышенного спроса на строительные материалы и квалифицированную рабочую силу.

Долгосрочные экономические потери. К ним можно отнести потери международных инвестиций и зарубежных рынков, разрушение отдельных отраслей промышленности, увеличение дефицита бюджета и падение национального годового дохода. Степень долгосрочных экономических потерь можно охарактеризовать временем, необходимым для восстановления экономики города, района, области до уровня, который был перед катастрофой.

ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ

Уязвимость наиболее просто определяется для зданий и сооружений: как отношение стоимости восстановления к его первоначальной стоимости. Процедура оценки уязвимости предполагает следующие этапы работ:

- классификация объектов (элементов) риска по их внутренним свойствам и, главное, по степени их реакции на заданное сейсмическое воздействие;
- паспортизация объектов на заданной территории, т.е. отнесение каждого объекта к тому или иному классу, оценка его стоимости и т.д.;
- определение функций уязвимости для каждого класса объектов, т.е. оценка соотношения между сейсмическим воздействием и степенью ущерба.

На практике классификация объектов осуществляется по шкалам сейсмической интенсивности (люди, животные, здания типа А, Б, В и др.). Но ввиду отсутствия в шкале ГОСТ 6249-52 новых сейсмостойких зданий и сооружений, в том числе современных линий жизнеобеспечения, трубопроводов, транспортных сооружений и др., при проведении работ по оценке уязвимости и сейсмического риска необходимо введение новых классов объектов. В Приложениях 1-3 приведены шкала ГОСТ 6249-52, утвержденная в качестве государственного стандарта в 1952 г., более поздняя неофициальная шкала MSK-64, а также таблица значений ускорений колебаний грунта при интенсивности сотрясений I=6, 7, 8 и 9 баллов, используемых в различных шкалах.

При проведении паспортизации сооружений для уменьшения объема работ на региональном или городском уровне они также подразделяются на соответствующие классы. В свою очередь, эти классы сооружений могут подразделяться на подклассы в соответствии с их физическими и механическими характеристиками, такими как несущая основную нагрузку система, архитектурные компоненты, материалы конструкции, срок службы сооружения и др. В настоящее время в нашей стране и за рубежом имеются различные методики проведения паспортизации сооружений, отличающиеся в деталях [*Восстановление...*, 1988; *Инструкция...*, 1987; *Методические...*, 1980, 1989; *Правила...*, 1988; *Положение...*, 1990; *Рашутина*, 1987; *СНиП*, 1987]. В целом же процедура паспортизации сооружений и объектов иной природы предусматривает обязательные этапы:

1) подразделение изучаемой территории (город/регион) на зоны;
2) классификация объектов в пределах каждой зоны;
3) определение количества объектов каждого класса в каждой зоне;
4) определение функции уязвимости объектов каждого класса.

Функция уязвимости, связывающая степень ущерба с уровнем сейсмического воздействия, определяется, в основном, эмпирическим путем. Изучаются инженерные последствия сильных местных землетрясений, оцениваются коэффициенты повреждаемости d и потери для каждого класса объектов. Используется мировая статистика данных по ущербу для классов объектов, находящихся на изучаемой территории, в аналогичной сейсмогеологической ситуации.

Описание степеней повреждений d зданий и сооружений, принятых в России, приводится в Приложении 2.

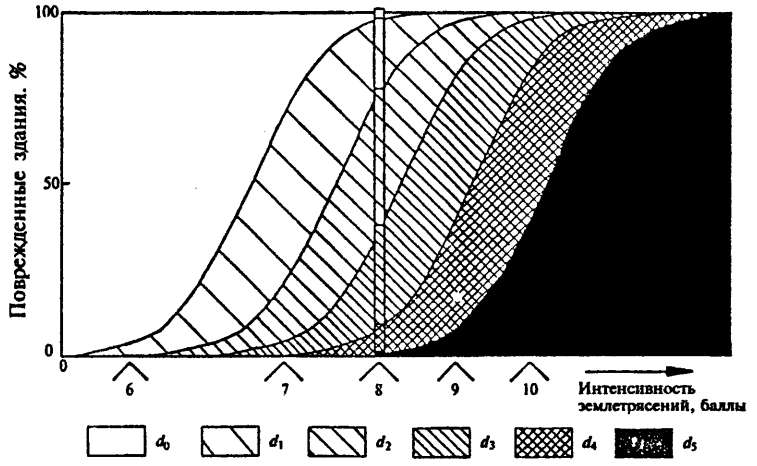

Рис. 2. Функции уязвимости кирпичных зданий
d_0 — нет повреждений; d_1 — легкие повреждения; d_2 — умеренные повреждения; d_3 — тяжелые повреждения; d_4 — разрушения; d_5 — обвалы

По результатам инженерного обследования последствий землетрясений оценивается коэффициент повреждаемости Kd (средняя степень повреждения) для однотипных объектов:

$$Kd = \sum_i \frac{d_i n_i}{N},$$

где d_i — степень повреждения зданий; n_i — число однотипных зданий с повреждениями d_i; N — общее число зданий этого типа, в зависимости от интенсивности землетрясений.

Вероятностный характер степени повреждения зданий при заданном воздействии учитывается матрицами повреждаемости. Такие матрицы в неявном виде присутствуют в шкалах сейсмической интенсивности.

Необходимо проявлять осторожность при объединении различных наборов данных, относящихся на первый взгляд к зданиям однотипным, но имеющим различные конструктивные решения. Так, кирпичные здания в разных странах могут вести себя по-разному. Однако в целом такие функции уязвимости позволяют провести качественную оценку риска, определить уровень возможной повреждаемости данного типа сооружений (а следовательно, и оценить потери) при землетрясении заданной интенсивности (рис. 2) [*Megacities...*, 1995; *Structures...*, 1995].

Имеются попытки введения новых классов сооружений (до 7 классов) с оценками для них ожидаемых коэффициентов повреждаемости $Kd = (d_i n_i)/N$, где d_i — степень повреждения зданий; n_i — число однотипных зданий с повреждениями d_i; N — общее число зданий этого типа в зависимости от интенсивности землетрясений (табл. 7). По шкале MSK-64 степень повреждения d имеет шесть градаций:

0 — отсутствие каких-либо повреждений;

1 — легкие повреждения: тонкие трещины в штукатурке, откалывание небольших кусков штукатурки;

Таблица 7. Ожидаемые коэффициенты повреждаемости *Kd* для различных типов зданий в зависимости от интенсивности землетрясений (по материалам Б.А. Кирикова)

Тип зданий	Интенсивность *I*, баллы			
	6	7	8	9
А	2.0	3.0	4.0	5.0
Б	1.5	2.5	3.5	4.5
В	1.0	2.0	3.0	4.0
Г	0.5	1.5	2.5	3.5
Д	0.5	1.0	2.0	3.0
Е	–	1.0	1.5	2.5
Ж	–	0.5	1.0	2.0

2 — умеренные повреждения: небольшие трещины в стенах, откалывание довольно больших кусков штукатурки, падение кровельных черепиц, трещины в дымовых трубах, падение частей дымовых труб;

3 — тяжелые повреждения: большие глубокие и сквозные трещины в стенах, падение дымовых труб;

4 — разрушения: обрушение внутренних стен и стен заполнения каркаса, проломы в стенах, обрушение частей зданий, разрушение связей между отдельными частями зданий;

5 — обвалы: полное разрушение зданий.

Здесь буквенными индексами обозначены здания различных типов:

А — здания с глинобитными стенами, со стенами из кирпича-сырца или рваного камня на глиняном растворе без деревянного каркаса;

Б — здания без антисейсмических мероприятий: из глиняного обожженного или силикатного кирпича или камней правильной формы на растворе марки 10 и ниже; здания типа А, усиленные деревянным раскосным каркасом;

В — здания без антисейсмических мероприятий: деревянные, каркасные с щитовым заполнением с несущими стенами из кирпича или камней правильной формы на растворе марки около 25;

Г — крупноблочные и каркасные здания, имеющие неполное антисейсмическое усиление; деревянные рубленые дома;

Д — крупнопанельные здания, имеющие неполное антисейсмическое усиление; здания, запроектированные на 7 баллов;

Е, Ж — здания, запроектированные на 8 и 9 баллов соответственно.

Поскольку степень повреждений зданий при заданном воздействии носит вероятностный характер, то сделаны попытки ввести матрицу вероятности повреждения зданий (табл. 8 9).

На основе анализа обследования последствий сильных землетрясений мира сделана экспертная оценка уязвимости транспортных сооружений (насыпи, выемки, верхнее строение пути, твердое дорожное покрытие, мосты, тоннели, галереи, подпорные стены, трубы, опоры контактной сети) (табл. 10).

Таблица 8. Матрица вероятности повреждений различной степени при различной интенсивности *I* [*Mitigating...*, 1991]

Степень повреждений	Уязви-мость	Интенсивность *I*, баллы				
		6	7	8	9	10
1	0.000	0.950	0.490	0.300	0.14	0.03
2	0.005	0.030	0.380	0.400	0.30	0.10
3	0.050	0.015	0.080	0.160	0.24	0.30
4	0.200	0.004	0.020	0.080	0.16	0.26
5	0.450	0.001	0.015	0.030	0.10	0.18
6	0.800	0.000	0.010	0.020	0.04	0.10
7	1.000	0.000	0.005	0.010	0.02	0.03

Таблица 9. Матрицы вероятности повреждений для зданий различного типа по данным инженерного анализа последствий сильных землетрясений в Турции [*Proc. of the UNDRO*, 1984]

Степень повреждения	Баллы по шкале MSK-64				
	5	6	7	8	9
Здания из местных материалов					
Нет повреждений	0.35	0.25	0.15	0.02	0.00
Легкие повреждения	0.45	0.35	0.20	0.08	0.05
Средние повреждения	0.15	0.30	0.40	0.30	0.20
Тяжелые повреждения и обрушения	0.05	0.10	0.25	0.60	0.75
Глинобитные здания					
Нет повреждений	0.70	0.50	0.20	0.05	0.00
Легкие повреждения	0.25	0.34	0.22	0.15	0.05
Средние повреждения	0.04	0.14	0.43	0.40	0.35
Тяжелые повреждения и обрушения	0.01	0.02	0.15	0.40	0.60
Кирпичные здания					
Нет повреждений	0.95	0.80	0.40	0.20	0.05
Легкие повреждения	0.04	0.15	0.35	0.30	0.15
Средние повреждения	0.01	0.05	0.23	0.40	0.50
Тяжелые повреждения и обрушения	0.00	0.00	0.02	0.10	0.30
Здания с деревянным каркасом					
Нет повреждений	0.90	0.70	0.60	0.20	0.05
Легкие повреждения	0.09	0.23	0.25	0.30	0.35
Средние повреждения	0.01	0.07	0.14	0.30	0.45
Тяжелые повреждения и обрушения	0.00	0.00	0.01	0.10	0.15
Здания с железобетонным каркасом					
Нет повреждений	0.95	0.80	0.60	0.15	0.10
Легкие повреждения	0.05	0.18	0.20	0.30	0.25
Средние повреждения	0.00	0.02	0.14	0.40	0.35
Тяжелые повреждения и обрушения	0.00	0.00	0.06	0.15	0.30

Таблица 10. Экспертная оценка уязвимости транспортных сооружений при землетрясениях (по материалам Г.С. Шестоперова)

Сила землетрясения по шкале MSK-64, баллы	Характер повреждений	Уязвимость V		
		V_{min}	V_{max}	$V_{ср}$
7	местные деформации	0	0.2	0.10
8	общие деформации	0.1	0.4	0.25
9	нарушения прочности	0.2	0.8	0.50
10	нарушения устойчивости	0.4	1.0	0.70

Таблица 11. Соотношение раненых и убитых в зависимости от степени разрушений современных зданий [*Mitigating...*, 1991]

Степень повреждений	Уязвимость	Легкие ранения	Серьезные ранения	Фатальные исходы
1	0.000	–	–	–
2	0.005	3/100 000	1/250 000	1/1 000 000
3	0.050	3/10 000	1/25 000	1/100 000
4	0.200	3/1 000	1/2 500	1/10 000
5	0.450	3/100	1/250	1/1 000
6	0.800	3/10	1/25	1/100
7	1.000	2/5	2/5	1/5

Таблица 12. Соотношение раненых и убитых (в % от числа жителей) в зависимости от степени повреждений современных зданий

Степень повреждений	Уязвимость	Легкие ранения	Серьезные ранения	Фатальные исходы
1	0.000	-	-	-
2	0.050	0.030	0.004	0.001
3	0.450	3.000	0.400	0.100
4	1.000	30.000	4.000	1.000
5	1.000	40.000	40.000	20.000

Оценить уязвимость многих элементов риска весьма трудно, а иногда и невозможно. Если человеческие жертвы еще можно выразить в процентах или долях от общего населения, то денежные оценки в этом случае теряют смысл по определению.

Сейсмические вибрации непосредственно жизни человека не угрожают: опасность представляют падающие предметы, части разрушающихся зданий.

На основе мировой статистики Федеральным Агентством США по чрезвычайным ситуациям приняты усредненные соотношения между числом раненых и убитых для современных зданий (табл.11). Эта таблица с небольшими изменениями может быть трансформирована для оценок степеней повреждений от 1 до 5, соответствующих градации, принятой в России (табл. 12).

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

По определению риск — это вероятность экономического и социального ущерба для данной территории за определенный промежуток времени [*Аптикаев и др.*, 1994; *Кофф и др.*, 1996; *Шойгу и др.*, 1992; *Mitigating...*, 1991; *Pavlov et al.*, 1995]. Возможны оценки риска, выраженные в процентном отношении потерь для отдельных элементов риска или в денежном выражении этих потерь. Процентное выражение сейсмического риска удобнее тем, что для отдельных элементов риска такое выражение более стабильно. Например, увеличение количества жилых зданий заданного типа в некотором заданном районе не изменяет оценку риска в процентном отношении, хотя в денежном выражении риск увеличится пропорционально приросту жилой площади. Кроме того, процентное отношение потерь не зависит от инфляции, позволяет сравнивать результаты оценок по материалам различных стран независимо от соотношения курсов валют.

В качестве показателей ущерба используются:

для населения — гибель, травматизм, психический стресс; потери жилья и имущества; потеря работоспособности, расходы на лечение, выплаты из страховых фондов и социального обеспечения; обнищание в результате безработицы; расходы на захоронения, в том числе потери ценных земель для устройства кладбищ; компенсация потери жилья и личного имущества; вынужденная мобильность, в том числе затраты на временное переселение и обустройство на новом месте; снижение качества товаров и услуг; повышение транспортной усталости и др.;

для жилищно-коммунального хозяйства и промышленности — потери находящихся на балансе зданий и сооружений; инженерной инфраструктуры; оборудования, материалов и сырья; снижение объемов продукции; сокращение сроков службы основных и оборотных фондов; увеличение количества текущих и планово-предупредительных ремонтов; дополнительные затраты на планировку, инженерную защиту и благоустройство территории; затраты на новое строительство, ремонт или усиление зданий для полного или частичного возобновления утраченного национального достояния и др.; расчистка завалов;

для сельского хозяйства — потери основных и оборотных фондов, снижение объема продукции, ухудшение качества угодий и др.;

для оздоровительно-рекреационных ресурсов — снижение показателей качества, снижение емкости различных компонентов рекреационных ресурсов и др.;

для природной среды — рост нагрузки в результате нового отвода земель, неблагоприятные изменения экогеобиоценозов (загрязнение, гибель), изменение рельефа, геофизических и геохимических полей; негативные изменения природных условий социотехногенной деятельности, например условий захоронения радиоактивных отходов;

для внешней экономической среды (по отношению к зоне бедст-вия) — простои производственных средств и рабочей силы во взаимосвязанных отраслях, ухудшение здоровья населения из-за недопоставок продуктов, лекарств и т.п., снижение качества товаров и услуг, утрата части национального дохода как следствие простоев и снижения объемов продукции,

так и вследствие расходования федеральных средств на вынужденные дополнительные затраты общества и др.;

в финансовой сфере — штрафы, пени и неустойки за нарушение экономических обязательств, просрочки платежей, потери платежей за жилье, потери налогов на оборот, прибыль и т.д.;

в сфере материальных резервов — снижение аварийных запасов, затраты на их возобновление;

в сфере ликвидации последствий — затраты на содержание аварийно-спасательных отрядов, накопление технических и материальных средств спасения и др.

Оценка полного ущерба при возможных землетрясениях на территории России в настоящее время невозможна вследствие отсутствия даже приближенных статистических данных для расчета некоторых видов ущерба.

Прямой ущерб L (от англ. *losses*) формируется из следующих составляющих:

L_1 — экономического ущерба в результате повреждения и/или разрушения жилых зданий и сооружений: L_1' — ущерба от полных и частичных потерь жилья, определяющего утрату части национального богатства; L_1'' — ущерба от возмещающего потери нового строительства, связанного с вынужденными дополнительными затратами общества;

L_2 — экономического ущерба в результате повреждения и/или разрушения промышленных зданий и сооружений;

L_3 — экономического ущерба в результате повреждения и/или разрушения городской инженерной инфраструктуры (без учета косвенных потерь);

L_4 — экономического ущерба в результате повреждений и/или разрушения зданий социально-бытового назначения (учреждения управления, здравоохранения, образования и др.);

L_5 — социального ущерба (безвозвратные и санитарные потери населения);

L_6 — экономического эквивалента социального ущерба;

L_7 — экономического ущерба, связанного с потерями основных фондов и валовой продукции промышленности и сельского хозяйства (включая малые предприятия);

L_8 — ущерба, связанного с затратами на содержание и функционирование аварийно-спасательных отрядов, включая техническое обеспечение;

L_9 — ущерба от недополучения квартирной платы вследствие повреждения и разрушения жилого фонда.

Ущерб от вторичных последствий землетрясений учитывается путем введения специально разработанных повышающих коэффициентов на дополнительные затраты, связанные с ликвидацией последствий от возникновения деформаций грунтов, оползней, селей и др., в том числе связанные с возведением дополнительных сооружений инженерной защиты от опасных процессов.

Полный ущерб L вычисляется как сумма отдельных видов ущерба для всех зон различной балльности.

Ожидаемый ущерб от землетрясений в будущем может оцениваться на основе наблюденного ущерба от уже происшедших сильных местных собы-

тий и на основе мировой статистики по уязвимости элементов риска по формуле

$$L = \sum_i \sum_j k_{ij} V_{ij} C_{ij},$$

где k_{ij} — количество объектов, относящихся к группе j в зоне с интенсивностью i; V_{ij}, C_{ij} — средние уязвимость и стоимость отдельного объекта, соответственно. Кроме средних оценок, используются вероятностные оценки уязвимости типа матриц, приведенных выше.

ПРИМЕР РАСЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

В качестве примера расчета приводятся приближенные оценки прямого ущерба от землетрясений для г. Иркутска с использованием оценок сейсмической опасности по картам ДСР и СМР [*Pavlov et al.*, 1995]. С помощью инструментальной среды ГЕО 2.5 подготовлена база данных для оценки сейсмического риска г.Иркутска, включающая:

- карту детального сейсмического районирования Иркутско-Шелеховского района в масштабе 1:200 000;
- каталог землетрясений с $M \geq 4$ с 1742 по 1993 г. (для района в пределах 51-54.5° с.ш. и 103-110° в.д.);
- карту сейсмического микрорайонирования территории города, масштаб 1:50 000;
- карту грунтовых условий территории города, масштаб 1:50 000;
- карту гидрологических условий территории города, масштаб 1:50 000;
- карту плотности застройки территории города, масштаб 1:50 000;
- схему распределения застройки города по степени сейсмостойкости, масштаб 1:50 000;
- таблицу распределения относительного количества зданий по типам в соответствии со шкалой MSK-64 для участков, однородных по сейсмологическим и грунтовым условиям согласно карте СМР г.Иркутска;
- данные по инфраструктуре г.Иркутска (линии электропередач, линии теплопередач, системы водоснабжения, транспортные сооружения и др.);
- данные по плотности распределения населения города разного возраста в дневное и ночное время.

Оценка ущербов выполнялась с учетом вероятностей появления сейсмических воздействий различного уровня в течение одного года и 50 лет.

Для г.Иркутска определялись следующие виды ущерба:

L_1 — экономический ущерб в результате повреждения и/или разрушения жилых зданий и сооружений: L_1' — ущерб от полных и частичных потерь жилья, определяющий утрату части национального богатства; L_1'' — ущерб от возмещающего потери нового строительства, связанный с вынужденными дополнительными затратами общества;

L_5 — социальный ущерб (безвозвратные и санитарные потери населения).

Ущерб от вторичных последствий землетрясений учитывался путем введения специально разработанных повышающих коэффициентов на дополнительные затраты, связанные с ликвидацией последствий от возникно-

Таблица 13. Уязвимость зданий при землетрясениях разной интенсивности по оценкам ИЗК СО РАН

Тип зданий	Код	Цена м², усл. ед.	Интенсивность в баллах		
			7	8	9
Крупнопанельные	7КП	516.5	0.035	0.119	0.370
Крупнопанельные	7-8КП	516.5	0.035	0.119	0.370
Крупнопанельные	8КП	516.5	0.024	0.066	0.221
Кирпичные	БКЧ	470.4	0.103	0.370	0.757
Кирпичные	7КЧ	516.5	0.058	0.246	0.583
Кирпичные	8КЧ	516.5	0.040	0.152	0.439
Каркасные	7КС	516.5	0.040	0.117	0.471
Каркасные	8КС	516.5	0.029	0.103	0.336
Деревянные	ВД	470.4	0.035	0.134	0.404

вения деформаций грунтов, оползней, селей и др., в том числе связанные с возведением дополнительных сооружений инженерной защиты от опасных процессов.

На основе перечисленных выше данных Института земной коры (ИЗК) СО РАН составлена сводная карта сейсмической опасности территории г. Иркутска (рис. 3, 4). На рис. 4 номера зоч даны в соответствии с Приложением 4.

В соответствии с паспортизацией, проведенной ИЗК СО РАН, жилые здания г.Иркутска подразделялись на 9 типов в соответствии с конструктивными особенностями и степенью амортизации. Для каждой группы зданий определены значения уязвимости и среднего ущерба для интенсивностей 7, 8 и 9 баллов (табл. 13).

На рис. 5 приведена карта прямого экономического ущерба, отнесенного к квадратному метру жилой площади, при максимальном возможном землетрясении. Ущерб для каждой зоны усреднен по типам застройки.

На рис. 6 приведена карта сейсмического риска для территории г Иркутска за 50 лет.

Анализ распределения потенциального ущерба от повреждений и разрушений жилых зданий в разных районах г. Иркутска показывает, что максимальный вклад в ущерб вносят факторы опасности и концентрации городского населения на наиболее опасных территориях.

Наибольшей величиной риска (максимальными значениями полного прямого ущерба) характеризуются территории Центрального района, в первую очередь, а также Иркутска-2, Паркового, Нагорного, Глазково и др. Величина вероятного полного прямого ущерба за 50 лет для этих 5 районов составляет 334 млрд. руб. (40% от полного ущерба по городу, составляющего с учетом вероятности сильных землетрясений за 50 лет 845 млрд. руб. (около 210 млн. долл.). Полный ущерб от единичного сильного землетрясения ($I \geq 8$ баллов) может превышать значение вероятного ущерба не менее чем в 10 раз и составит около 2.1 млрд. долл. (в ценах и рублевом эквиваленте на 1 февраля 1995 г.).

Наряду с экономическим ущербом были получены оценки ожидаемого количества погибших и раненых (L_5) раздельно для разного времени

суток и разного возрастного и социального состава населения. Осуществленный по сценариям "полдень", "полночь" и "15 ч", прогноз показал, что наибольшей социальной уязвимостью характеризуется Центральный район, плотно (и "кучно") заселенный и включающий значительное число промышленных предприятий и управленческих структур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Карты сейсмического риска наглядно демонстрируют наиболее уязвимые участки рассматриваемой территории, дают количественные оценки вероятного ущерба от землетрясений, что позволяет наиболее рационально осуществлять превентивные мероприятия по уменьшению последствий природных катастроф. Планирование и осуществление превентивных мероприятий должно выполняться постоянно, а не от случая к случаю. Эта работа должна проводиться всеми организациями без исключения, поскольку природные катастрофы затрагивают все слои населения и все сферы деятельности. Целесообразно принятие систематического подхода к планированию превентивных мероприятий на любой стадии изучения проблемы, а не в связи с решением отдельных задач или возникновением сильного землетрясения. При планировании, осуществлении таких мероприятий и оценке готовности общества к возможным природным катастрофам целесообразно использовать опыт международных организаций. В качестве примера в Приложениях 5 и 6 приводятся вопросники, подготовленные Бюро координатора ООН по ликвидации последствий природных катастроф [*Mitigating...*, 1991] и Всемирной Организацией здравоохранения [*WHO*, 1989]. Ответы на вопросы, приведенные в этих перечнях, наглядно продемонстрируют степень готовности общества и администрации к землетрясениям.

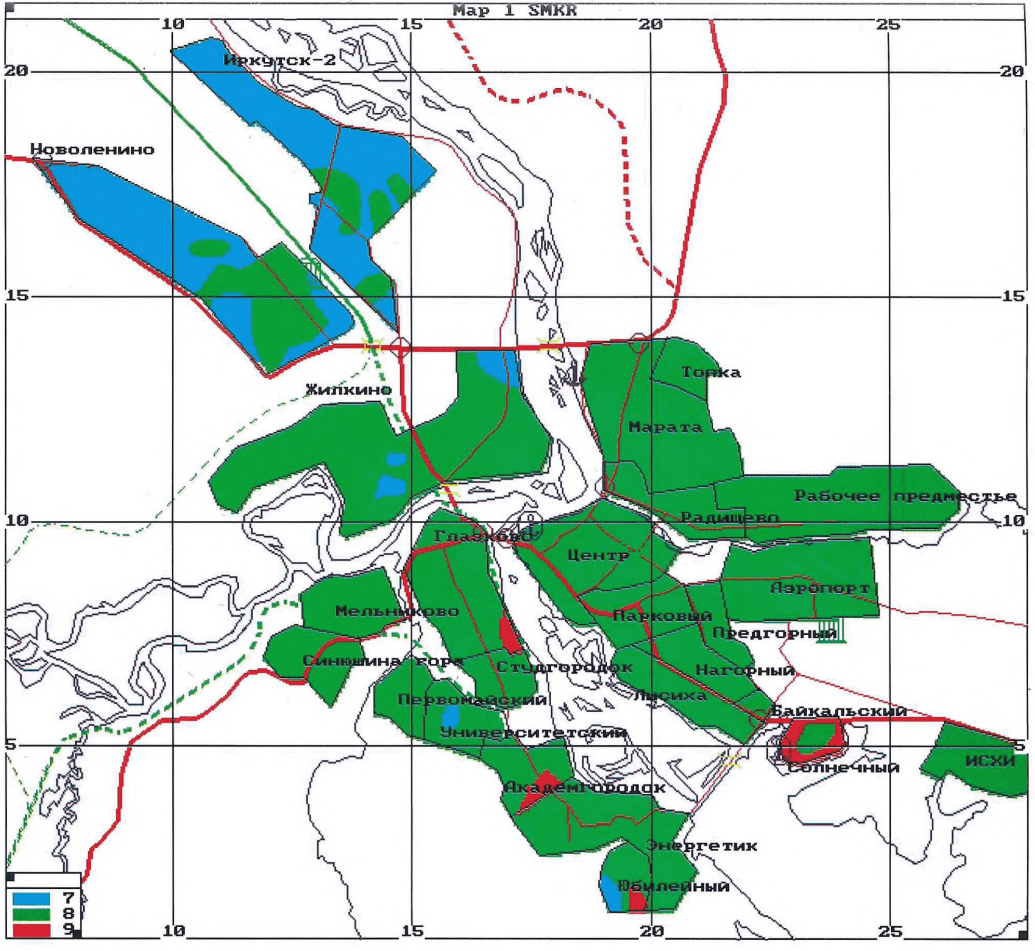

Рис. 3. Сводная карта сейсмической опасности территории г. Иркутска в баллах (7, 8, 9) с указанием названий микрорайонов города

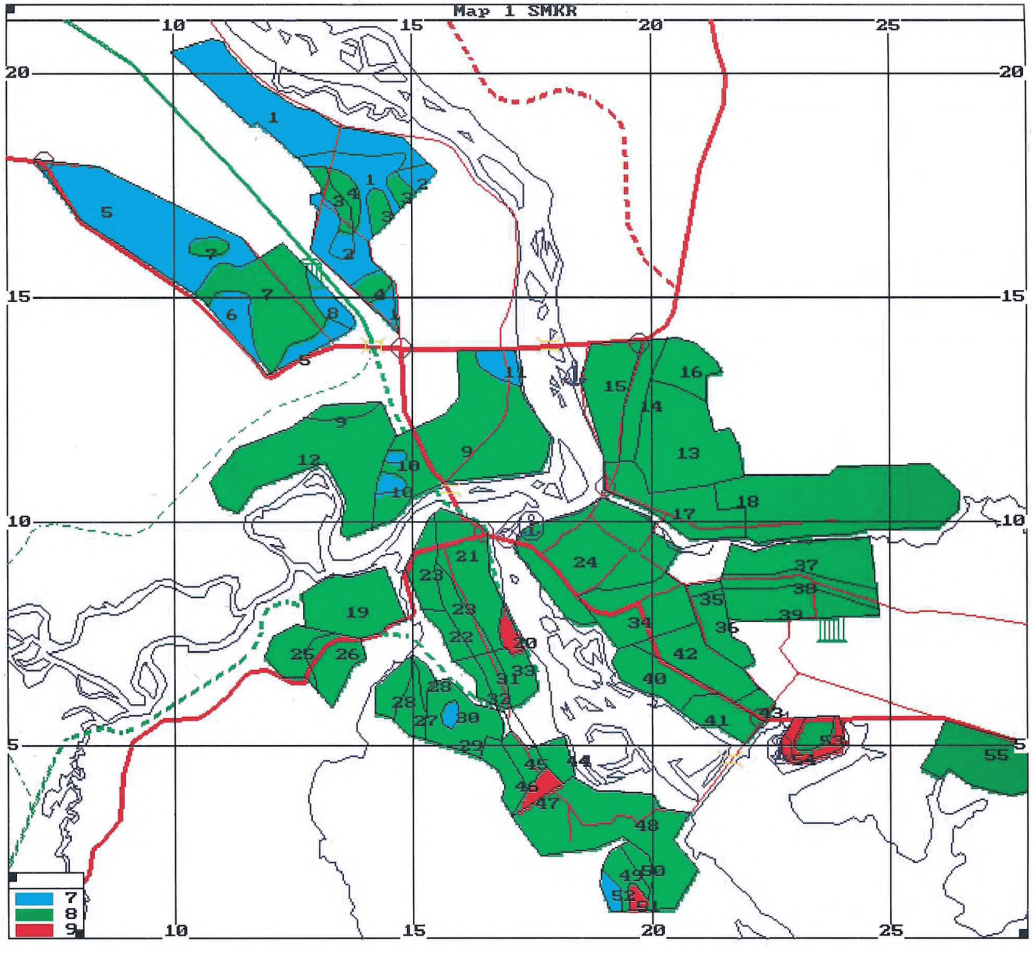

Рис. 4. Сводная карта сейсмической опасности территории г. Иркутска в баллах (7, 8, 9) с указанием номеров зон города по Приложению 4

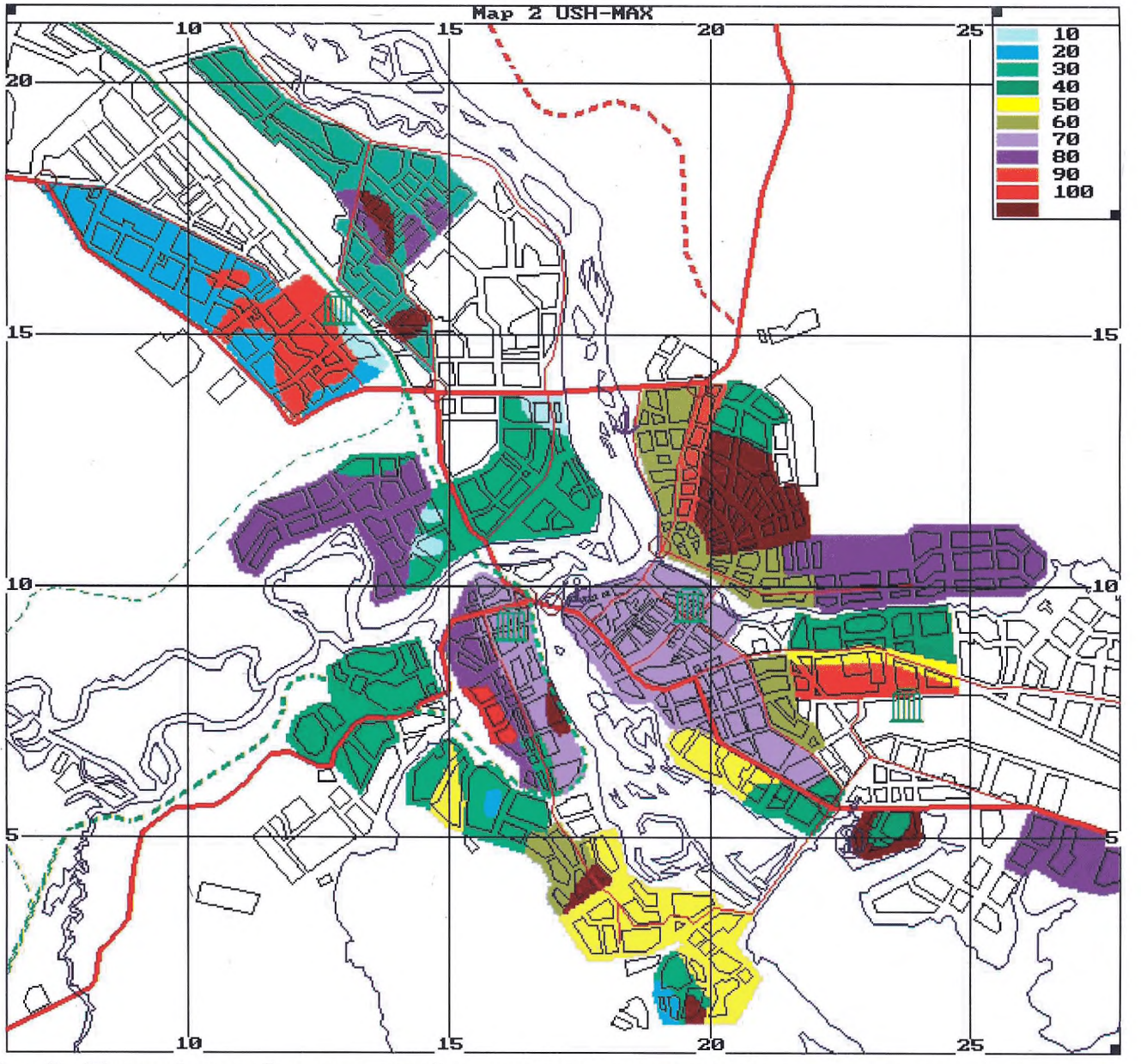

Рис. 5. Прямой ущерб, отнесенный к квадратному метру жилья, от максимального возможного землетрясения в условных единицах

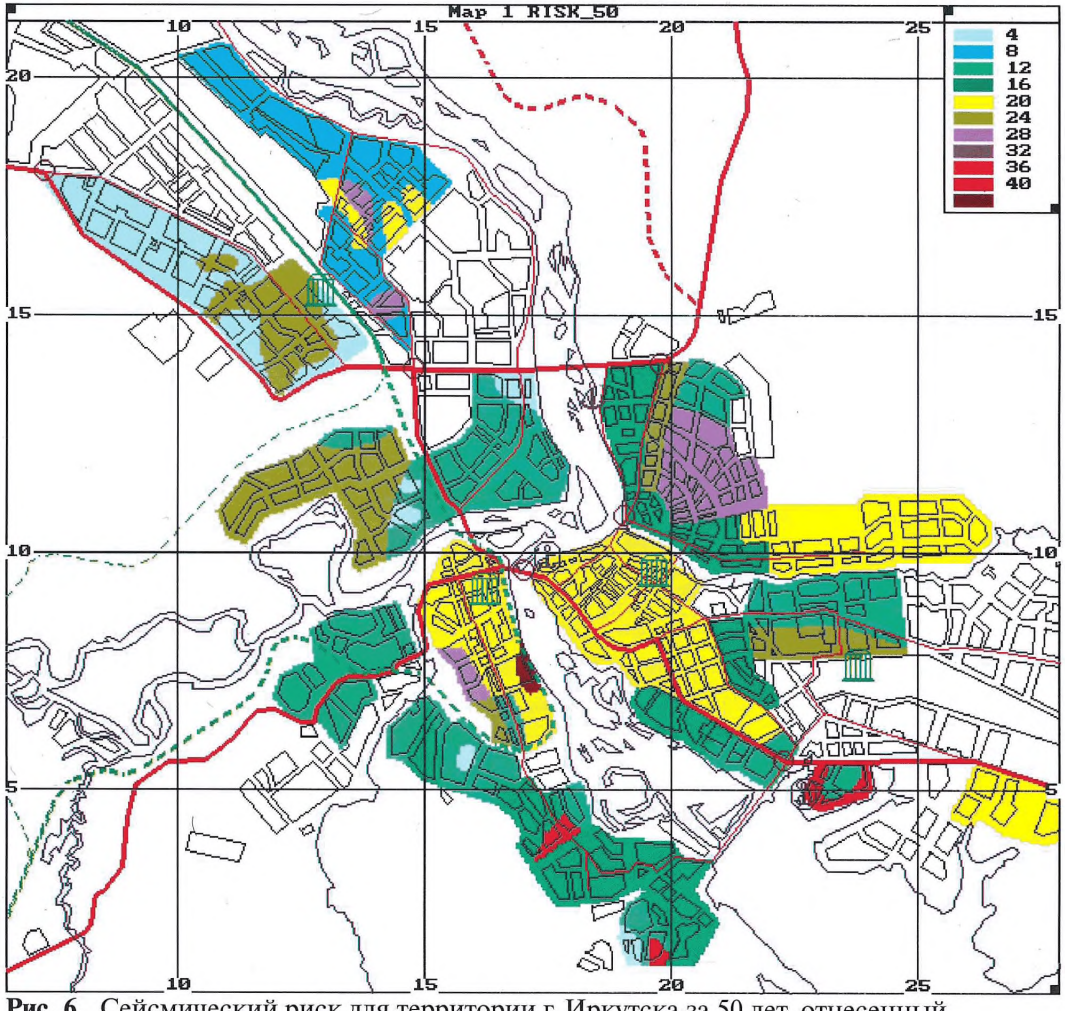

Рис. 6. Сейсмический риск для территории г. Иркутска за 50 лет, отнесенный к квадратному метру жилья, в условных единицах

ЛИТЕРАТУРА

Аптикаев Ф.Ф., Гитис В.Г., Кофф Г.Л., Фролова Н.И. и др. Методологические основы оценки сейсмического риска// *Межресп. науч. сем. "Сейсмический риск и сейсмическое микрорайонирование".* Иркутск, 1994.

Восстановление и усиление зданий в сейсмических районах. М.: Наука, МСССС АН СССР, 1988.

Джурик В.И., Севостьянов В.В., Потапов В.А., Фролова Н.И. и др. *Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию.* М.: Наука, 1988. 223 с.

Кофф Г.Л., Николаев А.В., Фролова Н.И. Введение в общую концепцию страхования от землетрясений// *Тр. Первой Всероссийской конференции "Теория и практика экологического страхования".* М.: Ин-т проблем рынка, 1995. С. 60-65.

Кофф Г.Л, Гусев А.А., Козьменко С.Н. *Экономическая оценка последствий катастрофических землетрясений.* М.: ВНТИЦ, 1996. 200 с.

Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на капитальный ремонт жилых зданий. ВСН 55-87/р. М.: Госгражданстрой, 1987.

Лятхер В.М., Фролова Н.И. и др. *Методические указания по определению сейсмических воздействий на гидротехнические сооружения.* М.: Гидропроект Минэнерго СССР, 1978. 60 с.

Лятхер В.М., Фролова Н.И. Статистический прогноз сейсмических воздействий с использованием карт сотрясаемости// *Изв. АН СССР. Физика Земли.* 1983. № 3. С. 88-95.

Лятхер В.М., Иващенко И.Н. *Сейсмостойкость грунтовых плотин.* М.: Наука, 1986. 280 с.

Методические рекомендации по сейсмическому районированию территории СССР. М.: ИФЗ АН СССР, 1974. 195 с.

Методические рекомендации по инженерному анализу последствий землетрясений. М.: МСССС АН СССР, ЦНИИСК Госстроя СССР, 1980.

Методические рекомендации по детальному сейсмическому районированию// *Вопр. инженерной сейсмологии.* Вып.27, 1986. С. 184-212.

Методические рекомендации по паспортизации зданий существующей застройки г.Алма-Аты и других населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах Казахской ССР. Алма-Ата: Казпромстройниипроект Госстроя Каз. ССР, 1989.

Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. ВСН 58-88/р. М.: Госкомархитектуры, 1990.

Правила оценки физического износа жилых зданий. ВСН 53-86/р. М.: Госгражданстрой, 1988.

Рашутина Н.В. *СТП 5.01.03-87. Порядок производства инженерно-технического обследования зданий и сооружений.* Иркутск: Иркутскремстройпроект, 1987.

Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980. 307с.

СНиП 2.01.13-86 Реконструкция зданий и сооружений. Исходные данные для проектирования. Правила обследования конструкций и оснований. М.: Госстрой СССР, 1987.

Шойгу С.К., Шахраманьян М.А., Кофф Г.Л. и др. *Анализ сейсмического риска, спасение и жизнеобеспечение населения при катастрофических землетрясениях (сейсмические, методологические и методические аспекты).* М.: ГКЧС РФ, ИЛСАН, 1992. 295 с.

Штейнберг В.В., Сакс М.В., Аптикаев Ф.Ф. и др. (1993). Методы оценки сейсмических воздействий (пособие)// *Вопр. инженерной сейсмологии.* Вып. 34, 1993. С. 5-94.

Co-operative Project for Seismic Risk Reduction in the Mediterranean Region (Rer/87/022). SEISMED. (1990-1991). UN: Switzerland, Vol. I, II, III.

Earthquakes and Volcanic Eruptions: A Handbook on Risk Assessment. Herbert Tiedemann. Swiss Re, Zurich, 1992. 951 p.

Megacities: reducing vulnerability to natural disasters. Thomas Telford Publ., London, 1995. 170 p.

Mitigating Natural Disaster: Phenomena, Effects and Options. A Manual for Policy Makers and Planners. UNDRO. United Nations, New York, 1991. 164 p.

Pavlov O., Koff G., Frolova N. Seismic Hazard and Seismic Risk Mapping for Irkutsk City// *Proc. of the Fifth International Conference on Seismic Zonation.* Nice, France, 1995. P. 199-207.

Proc. of the UNDRO Seminar on Earthquake Preparedness. Athens, Greece, 1984. 197 p.

Smolka A. Seismic Zoning and its Role in Risk Analysis// *Proc. of the Fifth Intern. Conf. on Seismic Zonation.* Nice, France, 1995. P. 1999-2019.

Structures to Withstand Disasters. /Ed. D. Key. Thomas Telford Publ., London, 1995. 185 p.

WHO. Coping with natural disasters: the role of local health personnel and the community. Geneva, 1989. 97h.

Шкала сейсмической интенсивности ГОСТ 6249-52 (1952 г.)

Интенсивность землетрясения в баллах (балльность) определяется величиной X_0, представляющей наибольшее смещение сферического маятника сейсмометра, имеющего период собственных колебаний 0.25 с и логарифмический декремент затухания 0.50.

Балл	X_0, мм	Краткая характеристика землетрясений
1	–	Колебания почвы отмечаются высокочувствительными приборами.
2	–	Ощущаются в отдельных случаях людьми, находящимися в спокойном состоянии.
3	–	Колебания отмечаются немногими людьми.
4	<0.5	Землетрясение отмечается многими людьми. Возможно колебание окон, дверей.
5	0.5-1.0	Качание висячих предметов, скрип полов, дребезжание стекол, осыпание побелки.
6	1.1-2.0	Легкие повреждения в зданиях: тонкие трещины в штукатурке, трещины в печах и т.п.
7	2.1-4.0	Значительные повреждения в зданиях: тонкие трещины в штукатурке и откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах.
8	4.1-8.0	Разрушения в зданиях: большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб.
9	8.1-16.0	В некоторых зданиях обвалы: обрушение стен, перекрытий, кровли.
10	16.1-32.0	Обвалы во многих заданиях. Трещины в грунтах около метра шириной.
11	>32.0	Многочисленные трещины на поверхности земли, большие обвалы в горах.
12	–	Изменение рельефа в больших размерах.

Сила землетрясения в пунктах, где отсутствуют сейсмометры, определяется по последствиям землетрясения согласно описанию, приведенному в Приложении к шкале.

ОПИСАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Описание последствий землетрясений дается по трем разделам.

1) Здания и сооружения.

2) Остаточные явления в грунтах и изменение режима грунтовых и наземных вод.

3) Прочие признаки.

Для установления степени повреждения и разрушения в результате землетрясения зданий, возведенных без необходимых антисейсмических мероприятий, производятся следующие подразделения.

I. По группам зданий:

г р у п п а А — одноэтажные дома со стенами из рваного камня, кирпича-сырца, самана и т.п.;

г р у п п а Б — кирпичные и каменные дома;

г р у п п а В — деревянные дома.

II. По степени повреждения:

л е г к и е п о в р е ж д е н и я — тонкие трещины в штукатурке и в печах, осыпание побелки и т.п.;

з н а ч и т е л ь н ы е п о в р е ж д е н и я — трещины в штукатурке, откалывание кусков штукатурки, тонкие трещины в стенах, трещины в перегородках, повреждение дымовых труб, печей и т.п.;

р а з р у ш е н и я — большие трещины в стенах, расслоение кладки, обрушение отдельных участков стен, падение карнизов и парапетов, обвалы штукатурки. падение дымовых труб, отопительных печей и т.п.;

о б в а л ы — обрушение стен, перекрытий и кровли всего здания или значительных частей его ;. большие деформации стен.

III. По количеству зданий:

большинство; многие; отдельные.

ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

1 балл. Повреждений нет.

2 балла. Повреждений нет.

3 балла. Повреждений нет.

4 балла. Повреждений чет.

5 баллов. Легкий скрип полов и перегородок. Дребезжание стекол. Осыпание побелки. Движение незакрытых дверей и окон. В отдельных зданиях легкие повреждения.

6 баллов. Во многих зданиях легкие повреждения. В отдельных зданиях группы А и Б значительные повреждения. В редких случаях при сырых грунтах — тонкие трещины на дорогах.

7 баллов. В большинстве зданий группы А значительные повреждения и в отдельных — разрушения. В большинстве зданий группы Б легкие повреждения и во многих — значительные повреждения. Во многих зданиях группы В легкие повреждения и в отдельных — значительные повреждения.

В отдельных случаях — оползни на крутых откосах на сыпей дорог, трещины на дорогах и нарушения стыков трубопроводов. Повреждения каменных оград.

8 баллов. Во многих зданиях группы А разрушения и в отдельных — обвалы. В большинстве зданий группы Б значительные повреждения и в отдельных — разрушения. В большинстве зданий группы В легкие повреждения и во многих — значительные повреждения.

Небольшие оползни на крутых откосах выемок и насыпей дорог. Отдельные случаи разрыва стыков трубопроводов. Памятники и статуи сдвигаются. Каменные ограды разрушаются.

9 баллов. Во многих зданиях группы А обвалы. Во многих зданиях труппы Б разрушения и в отдельных — обвалы. Во многих зданиях группы В значительные повреждения и в отдельных — разрушения.

В отдельных случаях искривление железнодорожных рельсов и повреждение насыпей дорог. Много трещин на дорогах. Разрывы и повреждения трубопроводов. Памятники и статуи опрокидываются. Большинство труб и башен разрушается.

10 баллов. Во многих зданиях группы Б обвалы. Во многих зданиях группы В разрушения и в отдельных — обвалы. Значительные повреждения насыпей и дамб. Местные искривления железнодорожных рельсов. Разрывы трубопроводов. Дороги получают много трещин и деформаций; обвалы труб, башен, памятников, оград.

11 баллов. Общее разрушение зданий. Разрушение насыпей на больших протяжениях. Трубопроводы приходят в полную негодность. Железнодорожные пути искривляются на большой длине.

12 баллов. Общее разрушение зданий и сооружений.

ОСТАТОЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ГРУНТАХ И ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ВОД

1 балл. Нарушений нет.

2 балла. Нарушений нет.

3 балла. Нарушений нет.

4 балла. Нарушений нет.

5 баллов. Небольшие волны в непроточных водоемах. В единичных случаях меняется дебит источников.

6 баллов. Трещины в сырых грунтах шириной до 1 см. В горных районах единичные случаи оползней и осыпания грунтов. Небольшие изменения дебита источников и уровня воды в колодцах.

7 баллов. Тонкие трещины в сухих грунтах. Большое количество трещин в сырых грунтах. Отдельные случаи оползней на берегах рек. В горных районах, небольшие оползни и осыпание грунтов. Возможны горные обвалы. В отдельных случаях мутнеет вода в водоемах и реках. Изменяются дебит источников и уровень грунтовых вод. В некоторых случаях возникают новые или пропадают существующие источники воды.

8 баллов. Трещины в грунтах достигают нескольких сантиметров. Много трещин на склонах гор и в сырых грунтах. Большие осыпания, оползни и горные обвалы. Вода в водоемах становится мутной. Возникают новые водоемы. Возникают новые или пропадают существующие источники

воды. Во многих случаях меняется дебит источников и уровень воды в колодцах.

9 баллов. Трещины в грунтах до 10 см шириной, а по склонам и берегам рек — свыше 10 см. Большое количество тонких трещин в грунтах. Горные обвалы. Много оползней, осыпание грунтов. Небольшие грязевые извержения. Большие волнения в водоемах. Часто возникают новые или пропадают существующие источники воды.

10 баллов. Трещины в грунтах шириной несколько дециметров и в отдельных случаях — до метра. Обвалы скал в горных районах и у морских берегов. Большие оплывины песчаных и глинистых масс. Прибой и выплескивание воды в водоемах и реках. Возникают новые озера.

11 баллов. Образуются многочисленные трещины на поверхности земли. Вертикальные перемещения пластов. Большие обвалы и оползни. Из трещин выступают водонасыщенные рыхлые отложения. Сильно меняется режим в источниках и водоемах, а также уровень грунтовых вод.

12 баллов. Изменение рельефа в больших размерах. Громадные обвалы и оползни. Значительные вертикальные и горизонтальные разрывы и сдвиги. Большие изменения режима подземных и наземных вод. Образуются водопады. Возникают озера. Изменяются русла рек.

ПРОЧИЕ ПРИЗНАКИ

1 балл. Землетрясение людьми не ощущается. Колебания почвы регистрируются приборами.

2 балла. Отмечается отдельными, очень чуткими людьми, находящимися в полном покое.

3 балла. Колебания отмечаются немногими людьми, находящимися в спокойном состоянии внутри помещений. Внимательными наблюдателями замечается очень легкое раскачивание висячих предметов.

4 балла. Легкое раскачивание висячих предметов и неподвижных автомашин. Легкое колебание жидкости в сосудах. Слабый звон плотно составленной неустойчивой посуды.

Землетрясение распознается большинством людей, находящихся внутри зданий. В редких случаях просыпаются спящие. Под открытым небом ощущается отдельными лицами.

5 баллов. Заметно качаются висячие предметы. В редких случаях маятники стенных часов останавливаются. Из наполненных сосудов иногда выплескивается жидкость. Неустойчивая посуда и украшения, стоящие на полках, иногда опрокидываются.

Ощущается всеми людьми внутри зданий и большинством под открытым небом; все просыпаются. Животные беспокоятся.

6 баллов. Качаются висячие предметы. Иногда падают книги с полок и сдвигаются картины. Многие маятники стенных часов останавливаются. Легкая мебель сдвигается. Падает посуда.

Многие люди выбегают из помещений. Передвижение людей неустойчивое. Животные выбегают из укрытий.

7 баллов. Сильно качаются висячие лампы. Легкая мебель сдвигается. Падают книги, посуда, вазы.

Все люди выбегают из помещений и в отдельных случаях выпрыгивают из окон. Передвигаться без опоры трудно.

8 баллов. Часть висячих ламп повреждается. Мебель сдвигается и частью опрокидывается. Легкие предметы подскакивают и опрокидываются.

Люди с трудом удерживаются на ногах. Все выбегают из помещений.

9 баллов. Мебель опрокидывается и ломается. Большое беспокойство животных.

10 баллов. Многочисленные повреждения предметов домашнего обихода. Животные мечутся и кричат.

11 баллов. Гибель многих жителей, животных и имущества под обломками зданий.

12 баллов. Сильная катастрофа. Гибнет значительная часть населения от обвалов зданий. Растительность и животные погибают от обвалов и осыпей в горных районах.

Шкала сейсмической интенсивности MSK-64

Составлена *С.В. Медведевым* (Москва), *В. Шпонхойером* (W. Sponheuer, Йена), *В. Карником* (V. Karnik, Прага)

1. Классификация, принятая в шкале

Типы сооружений.

Здания, возведенные без необходимых антисейсмических мероприятий.

Тип А — здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, глинобитные дома.

Тип *Б* — обычные кирпичные дома, здания крупноблочного и панельного *типа,* фахверковые строения, здания из естественного тесаного камня.

Тип *В* — каркасные железобетонные здания, деревянные дома хорошей постройки.

Количественные характеристики.

Отдельные — около **5%,**
многие — около **50%,**
большинство — около **75%.**

Классификация повреждений.

1 с т е п е н ь. *Легкие повреждения:* тонкие трещины в штукатурке и откалывание небольших кусков штукатурки.

2 с т е п е н ь. *Умеренные повреждения:* небольшие трещины в стенах, откалывание довольно больших кусков штукатурки, падение кровельных черепиц, трещины в дымовых трубах, падение частей дымовых труб.

3 с т е п е н ь. *Тяжелые повреждения:* большие и глубокие трещины в стенах, падение дымовых труб.

4 с т е п е н ь. *Разрушения:* сквозные трещины и проломы в стенах, обрушения частей зданий, разрушение связей между отдельными частями зданий, обрушение внутренних стен и стен заполнения каркаса.

5 с т е п е н ь. *Обвалы:* полное разрушение зданий.

Группировка признаков интенсивности.

а) Люди и их окружение.
б) Сооружения.
в) Природные явления.

2. Интенсивность (в баллах)

1 б а л л. *Неощутимое землетрясение.*

а) Интенсивность колебаний лежит ниже предела чувствительности людей; сотрясения почвы обнаруживаются и регистрируются только сейсмографами.

б) –

в) –

2 б а л л а. *Едва ощутимое землетрясение.*

а) Колебания ощущаются только отдельными людьми, находящимися в покое внутри помещений, особенно на верхних этажах.

б) –

в) –

3 б а л л а. *Слабое землетрясение.*

а) Землетрясение ощущается немногими людьми, находящимися внутри помещений; под открытым небом — только в благоприятных условиях. Колебания схожи с сотрясением, создаваемым проезжающим легким грузовиком. Внимательные наблюдатели замечают легкое раскачивание висячих предметов, несколько более сильное на верхних этажах.

б) –

в) –

4 б а л л а. *Заметное сотрясение.*

а) Землетрясение ощущается внутри зданий многими людьми; под открытым небом — немногими. Кое-где спящие просыпаются, но никто не пугается. Колебания схожи с сотрясением, создаваемым проезжающим тяжело нагруженным грузовиком. Дребезжание окон, дверей, посуды. Скрип полов и стен. Начинается дрожание мебели. Висячие предметы слегка раскачиваются. Жидкость в открытых сосудах слегка колеблется. В стоящих на месте автомашинах толчок заметен.

б) –

в) –

5 б а л л о в. *Пробуждение.*

а) Землетрясение ощущается всеми людьми внутри помещения, под открытым небом — многими. Многие спящие просыпаются. Немногие лица выбегают из помещений Животные беспокоятся. Сотрясение зданий в целом. Висячие предметы сильно качаются. Картины сдвигаются с места. В редких случаях останавливаются маятниковые часы. Некоторые неустойчивые предметы опрокидываются или сдвигаются. Незапертые двери и окна распахиваются и снова захлопываются. Из наполненных открытых сосудов в небольших количествах выплескивается жидкость. Ощущаемые колебания схожи с колебаниями, создаваемыми падением тяжелых предметов внутри здания.

б) Возможны повреждения 1-й степени в отдельных зданиях типа А.

в) В некоторых случаях меняется дебит источников.

6 баллов. *Испуг.*

а) Землетрясение ощущается большинством людей как внутри помещений, так и под открытым небом. Многие люди, находящиеся в зданиях, пугаются и выбегают на улицу. Немногие лица теряют равновесие. Домашние животные выбегают из укрытий. В немногих случаях может разбиться посуда и другие стеклянные изделия; падают книги. Возможно движение тяжелой мебели; может быть слышен звон малых колоколов на колокольнях.

б) Повреждение 1-й степени в отдельных зданиях типа Б и во многих зданиях типа А. В отдельных зданиях типа А повреждения 2-й степени.

в) В немногих случаях в сырых грунтах возможны трещины шириной до 1 см; в горных районах отдельные случаи оползней. Наблюдаются изменения дебита источников и уровня воды в колодцах.

7 баллов. *Повреждение зданий.*

а) Большинство людей испуганы и выбегают из помещений. Многие люди с трудом удерживаются на ногах. Колебания отмечаются лицами, ведущими автомашины. Звонят большие колокола.

б) Во многих зданиях типа В — повреждения 1-й степени; во многих зданиях типа Б — повреждения 2-й степени. Во многих зданиях типа А — повреждения 3-й степени, в отдельных зданиях этого типа — повреждения 4-й степени. В отдельных случаях — оползни проезжих частей дорог на крутых склонах и трещины на дорогах. Нарушения стыков трубопроводов; трещины в каменных оградах.

в) На поверхности воды образуются волны, вода становится мутной вследствие поднятия ила. Изменяется уровень воды в колодцах и дебит источников. В немногих случаях возникают новые или пропадают существующие источники воды. Отдельные случаи оползней на песчаных или гравелистых берегах рек.

8 баллов. *Сильные повреждения зданий.*

а) Испуг и паника; испытывают беспокойство даже лица, ведущие автомашины. Кое-где обламываются ветви деревьев. Сдвигается и иногда опрокидывается тяжелая мебель. Часть висячих ламп повреждается.

б) Во многих зданиях типа В — повреждения степени, в отдельных зданиях этой группы — повреждения 3-й степени. Во многих зданиях типа Б — повреждения 3-й степени, в отдельных — 4-й степени. Во многих зданиях типа А — повреждения 3-й степени, в отдельных — 5-й степени. Отдельные случаи разрыва стыков трубопроводов. Памятники и статуи сдвигаются. Надгробные камни опрокидываются. Каменные ограды разрушаются.

в) Небольшие оползни на крутых откосах выемок и насыпей дорог; трещины в грунтах достигают нескольких сантиметров. Возникают новые водоемы. Иногда пересохшие колодцы наполняются водой или существующие колодцы иссякают. Во многих случаях изменяется дебит источников и уровень воды в колодцах.

9 баллов. *Всеобщие повреждения зданий.*

а) Всеобщая паника; большие повреждения мебели. Животные мечутся и кричат.

б) Во многих зданиях типа В — повреждения степени и в отдельных — 4-й степени. Во многих зданиях типа Б — повреждения 4-й степени и в отдельных — 5-й степени. Во многих зданиях типа А — повреждения 5-й степени. Памятники и колонны опрокидываются. Значительные повреждения искусственных водоемов; разрывы части подземных трубопроводов. В отдельных случаях — искривление железнодорожных рельсов и повреждение проезжих частей дорог.

в) На равнинах наводнения, часто заметны наносы песка и ила. Трещины в грунтах достигают ширины 10 см, а по склонам и берегам рек — свыше 10 см; кроме того большое количество тонких трещин у грунтах. Скалы обваливаются; часты оползни и осыпания грунта. На поверхности воды большие волны.

10 баллов. *Всеобщие разрушения зданий.*

а) Во многих зданиях типа В — повреждения 4-й степени, а в отдельных — 5-й степени. Во многих зданиях типа Б — повреждения 5-й степени, в большинстве зданий типа А — повреждения 5-й степени. Опасные повреждения плотин и дамб, серьезные повреждения мостов. Легкие искривления железнодорожных рельсов. Разрывы или искривления подземных трубопроводов. Дорожные покрытия и асфальт образуют волнообразную поверхность.

б) Трещины в грунтах шириной несколько дециметров и в некоторых случаях — до 1 м. Параллельно руслам водных потоков появляются широкие разрывы. Осыпание рыхлых пород с крутых склонов. Возможны большие оползни на берегах рек и крутых морских побережьях. В прибрежных районах перемещаются песчаные и илистые массы; выплескивание воды в каналах, озерах, реках и т.д. Возникают новые озера.

11 баллов. *Катастрофа.*

б) Серьезные повреждения даже зданий хорошей постройки, мостов, плотин и железнодорожных путей; шоссейные дороги приходят в негодность; разрушение подземных трубопроводов.

в) Значительные деформации почвы в виде широких трещин, разрывов и перемещений в вертикальном и горизонтальном направлениях; многочисленные горные обвалы.

Определение интенсивности сотрясения (балльности) требует специального исследования.

12 баллов. *Изменения рельефа.*

б) Сильное повреждение или разрушение практически всех наземных и подземных сооружений.

в) Радикальные изменения земной поверхности. Наблюдаются значительные трещины в грунтах с обширными вертикальными и горизонтальными перемещениями. Горные обвалы и обвалы берегов рек на больших площадях. Возникают озера, образуются водопады; изменяются русла рек.

Определение интенсивности сотрясения (балльности) требует специального исследования.

3. Дополнения

Таблица 1. Числовые характеристики колебаний при землетрясениях различной силы

I, баллы	α, см/с^2	v, см/с	x_0, мм
5	12-25	1.0-2.0	0.5-1.0
6	25-50	2.1-4.0	1.1-2.0
7	50-100	4.1-8.0	2.1-4.0
8	100-200	8.1-16.0	4.1-8.0
9	200-400	16.1-32.0	8.1-16.0
10	400-800	32.1-64.0	16.1-32.0

α — ускорение почвы в см/с^2 для периодов от 0.1 до 0.5 с; v — скорость колебаний почвы в см/с для периодов от 0.5 до 2.0 с; x_0 — амплитуда (в мм) смещения центра массы маятника с периодом собственных колебаний 0.25 с и логарифмическим декрементом затухания 0.5.

Таблица 2. Типы зданий, количество и степень повреждений при различной интенсивности

I, баллы	Типы зданий		
	А	Б	В
5	Отдельные — 1	–	–
6	Отдельные — 1 Многие — 2	Отдельные — 1	–
7	Отдельные — 4 Многие — 3	– Многие — 2	Многие — 1 Отдельные — 3
8	Отдельные — 5 Многие — 4	Отдельные — 4 Многие — 3	Отдельные — 3 Многие — 2
9	– Многие — 4	Отдельные — 5 Многие — 4	Отдельные — 4 Многие — 3
10	Большинство — 5	– Многие — 5	Отдельные — 5 Многие — 4

Примечание. 1, 2, 3, 4, 5 — степени повреждений по принятой классификации.

Таблица 3. Краткая характеристика интенсивности землетрясений

I, баллы	Характеристика
1	Колебания почвы отмечаются приборами.
2	Ощущаются в отдельных случаях людьми, находящимися в спокойном состоянии.
3	Колебания отмечаются немногими людьми.
4	Землетрясение отмечается многими людьми. Возможно дребезжание стекол.

5	Качание висячих предметов, многие спящие просыпаются.
6	Легкие повреждения в зданиях, тонкие трещины в штукатурке.
7	Трещины в штукатурке, откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах.
8	Большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб.
9	В некоторых зданиях обвалы: обрушение стен, перекрытий, кровли.
10	Обвалы во многих зданиях. Трещины в грунтах шириной до 1 м.
11	Многочисленные трещины на поверхности земли, большие обвалы в горах.
12	Изменения рельефа в больших размерах.

Таблица 4. Сопоставление сейсмических шкал

Шкала MSK-64	Шкала ИФЗ РАН 1952 г.	Американская модифицированная шкала (ММ) 1931 г.	Японская шкала 1950 г.	Шкала Росси-Форреля 1873 г.	Европейская шкала (Меркалли – Канкани – Зиберга) 1917 г.
1	1	1	0	1	1
2	2	2	1	2	2
3	3	3	2	3	3
4	4	4	2, 3	4	4
5	5	5	3	5-6	5
6	6	6	4	7	6
7	7	7	4, 5	8	7
8	8	8	5	9	8
9	9	9	6	10	9
10	10	10	6	10	10
11	11	11	7	10	11
12	12	12	7	10	12

Значения ускорений колебаний грунта (см/с^2) при интенсивностях землетрясений I = 6, 7, 8, 9 баллов в разных шкалах, используемых в Российской Федерации

Шкала	Год утверждения или публикации	Интенсивность I, баллы			
		6	7	8	9
ОСТ ВКС 4537	1931	5-10	10-25	25-50	50-100
ГОСТ 6245-52	1952	35-70	70-140	140-280	280-560
MSK-64	1964	25-50	50-100	100-200	200-400
MMSK-86	1986	41-90	91-200	201-400	401-800

Примечание. Экспериментальные данные по сильным движениям грунта, полученные в последние десятиления, показывают, что реальный уровень сейсмических колебаний при сильных землетрясениях выше оценок, приводимых в шкале MMSK-86.

Зональные характеристики г. Иркутска

Район	Зона	Балл по СМР	Риск	Максимальный ущерб	Крупнопанельная						Кирпичная						Каркасная				Деревянная	
					7КП		7-8КП		8КП		БКЧ		7КЧ		8КЧ		7КС		8КС		ВД	
					S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Иркутск-2	1	7	4.44	20.11					322.0	1.0	644.2	0.6									322.0	0.60
	2	7	5.39	24.39					44.5	1.0	40.1	0.8							4.50	1.0		
	3	8	19.50	73.36			58.1	0.85			58.1	0.8							9.70	1.0	67.0	0.60
	4	8	26.44	100.17							71.1	0.7			71.1	1.0						
Ново-ленино	5	7	3.10	14.04	88.7	0.9			58.2	0.6					22.0	1.0	8.9	0.9				
	6	7	3.45	15.61							5.1	0.8									20.0	0.60
	7	8	22.01	83.18	17.1	0.9					39.9	0.8			17.1	1.0					39.0	0.65
	8	7	2.18	9.88																	16.0	0.60
Жилкино	9	8	9.85	37.82																		
	10	7	2.18	9.88																		
	11	7	2.18	9.88																		
	12	8	20.33	76.27					38.4	1.0	15.5	0.8	19.2	0.9					3.80	1.0		
Пр. Марата	13	8	27.34	103.42							93.6	0.8			46.9	1.0						
	14	8	21.19	80.04							37.5	0.5			7.1	1.0						
	15	8	14.46	54.62					19.4	1.0					38.9	1.0						
Топка	16	8	10.33	36.00					180.0	1.0									20.00	1.0		
Радищева	17	8	15.36	58.37					9.0	1.0	27.0	0.7			36.0	1.0					108.0	0.60
Рабоч. пр.	18	8	19.56	74.70							42.8	0.7			299.6	1.0					85.0	0.60
Мельников	19	8	9.86	37.52					3.1	1.0											34.0	0.60
Глазково	20	9	46.56	184.52							10.1	0.7			10.1	1.0					18.0	0.60
	21	8	17.67	67.26					14.6	1.0	29.3	0.7			146.5	1.0					102.0	0.60
	22	8	25.24	95.24							41.1	0.7			13.8	1.0					13.0	0.60
	23	8	18.80	71.4							114.7	0.6									114.0	0.60
Центр	24	8	17.21	65.23					41.7	1.0	208.8	0.5			334.0	1.0			83.50	1.0	167.0	0.40
	25	8	10.33	36.0					187.9	1.0									20.90	1.0		
	26	8	10.20	35.5?					215.4	1.0									16.70	1.0	7.0	0.60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Перво-	27	8	13.64	49.44					173.6	1.0					86.8	1.0	28.90	0.9				
майский	28	8	10.31	36.60					277.3	1.0											92.0	0.70
Универ-	29	8	10.08	34.85					48.3	1.0									2.00	1.0		
ситет	30	7	2.81	12.73					4.1	1.0									0.60	1.0		
Студго-	31	8	9.87	37.87											0.1	1.0					75.0	0.60
родок	32	8	20.19	77.24											55.1	1.0			2.90	1.0		
	33	8	18.02	68.16					23.2	1.0					86.4	1.0			6.00	1.0		
Парковый	34	8	17.66	66.40					167.0	1.0	66.8	0.7			334.0	1.0			33.40	1.0	66.0	0.60
Подгор-	35	8	15.17	58.14											37.0	1.0					37.0	0.60
ный	36	8	15.59	59.74											197.4	1.0					197.0	0.65
Аэропорт	37	8	9.85	37.82																		
	38	8	0.67	40.97																		
	39	8	21.81	82.77							31.3	0.5			31.2	1.0						
Лисиха	40	8	13.30	48.38					177.9	1.0					82.2	1.0			13.70	1.0		
	41	8	8.21	31.52																	190.0	0.50
Нагорный	42	8	17.65	66.36					134.5	1.0	53.8	0.7			268.5	1.0			26.90	1.0		
Байкал	43	8	10.16	35.24					65.8	1.0									4.20	1.0		
Академ-	44	8	11.49	44.12																	33.0	0.70
городок	45	8	14.68	54.40					15.0	1.0					13.1	1.0			9.40	1.0		
	46	8	14.38	53.18					21.1	1.0					15.9	1.0			15.90	1.0		
	47	9	38.36	165.78					22.5	1.0					16.9	1.0			16.90	1.0		
Энергет.	48	8	12.69	46.06					313.6	1.0					112.7	1.0			24.50	1.0	39.0	0.70
Юбилей-	49	8	9 85	37.82																	264.0	0.60
ный	50	8	12.03	42.99					107.8	1.0					27.0	1.0						
	51	9	39.85	171.99			81.3	0.90														
	52	7	3.30	14.97					44.4	1.0					19.1	1.0			63.40	1.0		
Солнеч-	53	8	10.65	37.28					126.7	1.0					7.1	1.0			7.0	1.0		
ный	54	9	37.13	159.82					99.6	1.0					59.8	1.0			39.80	1.0		
ИСХИ	55	8	19.44	74.07					4.2	1.0					37.8	1.0						

Форма учета мероприятий по готовности к землетрясениям [*Mitigating...*, 1991]

Мероприятия	Ситуация в вашем городе, районе			Приоритеты
	Не проводятся	Начаты	Проведены	
1	2	3	4	5
СУЩЕСТВУЮЩАЯ ЗАСТРОЙКА (заполнить соответствующие графы)				
Паспортизация зданий				
Усиление особо ответственных сооружений				
Укрепление зданий с недостаточным уровнем сейсмостойкости				
Снижение опасности, вызванной повреждениями неконструктивных элементов				
Контроль за хранением и использованием опасных материалов				
ПЛАНИРОВАНИЕ НА СЛУЧАЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И РЕАГИРОВАНИЕ				
Оценка сейсмической опасности и риска				
План реагирования на случай землетрясения				
Определение ресурсов на случай реагирования				
Создание жизнеспособных систем связи				
Создание служб поиска и спасения				
План междуведомственного взаимодействия				
Создание и обучение служб реагирования				
ПЕРСПЕКТИВНОЕ РАЗВИТИЕ				
Получение информации о геологических и грунтовых условиях				
Модернизация и усовершенствование характеристики безопасности				

1	2	3	4	5
Выполнение нормативных рекомендаций по проведению исследований в специальных зонах				
Ограничение строительства в опасных районах				
Обеспечение надзора и контроля за проектированием сейсмостойких сооружений				
ПЕРИОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ				
Планирование восстановления служб				
Разработка порядка проведения работ по оценке повреждений				
Планирование проведения обследования и выявления зданий, непригодных для жилья				
Планирование разборки развалин				
Разработка программы краткосрочных восстановительных мероприятий				
Подготовка плана долгосрочных восстановительных мероприятий				
ИНФОРМАЦИЯ И ОБУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СЛУЖБ				
Работа со средствами массовой информации				
Поддержка специальных школьных программ				
Поддержка работы по осознанию сейсмической опасности в деловых кругах				
Оказание помощи по подготовке семей и их соседей				
Оказание помощи при подготовке пожилых людей и инвалидов				
Поддержка усилий добровольных общественных объединений				
Постоянное обучение персонала и совершенствование программ				

Форма оценки ситуации и проведения мероприятий на случай катастрофы [*WHO*, 1989]

Вопросник для оценки ситуации и определения перечня мероприятий, предпринимаемых администрацией и населением

	+	±	–
1. Вопросник для определения ситуации сразу после катастрофы			
1.1 Создана ли при местной администрации комиссия по чрезвычайным ситуациям?			
1.2 Организованы ли спасательные команды?			
1.3 Делается ли что-нибудь для изолированных семей?			
1.4 Проведена ли работа по выявлению раненых и их доставке в медицинские учреждения?			
1.5 Проведена ли эвакуация жителей из опасных зданий?			
1.6 Предприняты ли действия для решения насущных проблем выживания пострадавших?			
1.6.1 Обеспечение водой			
1.6.2 Обеспечение питанием			
1.6.3 Предоставление временного жилья			
1.7 Определены ли места хранения тел погибших до похорон?			
1.8 Предпринимаются ли шаги для опознания погибших?			
1.9 Создан ли информационно-координационный центр?			
1.10 Установлена ли связь с центральными (региональными, национальными) органами власти?			
1.11 Оценены ли объемы необходимой срочной помощи из вне с учетом числа людей, нуждающихся в помощи, типа необходимой помощи и имеющихся на месте ресурсов?			
1.12 Предпринимаются ли действия для воссоединения семей?			
1.13 Подготовлены ли инструкции по безопасности?			
1.14 Предпринимаются ли действия по распространению информации о:			
1.14.1 последствиях катастрофы,			
1.14.2 о существующей опасности,			
1.14.3 о фактах, успокаивающих население?			
2. Вопросник для определения ситуации в период после катастрофы			
2.1 Поддерживается ли связь с центральными органами власти?			
2.2 Осуществляется ли координация информации о необходимых потребностях?			
2.3 Координируются ли действия местных добровольных команд?			

		+	±	−
2.4	Координируются ли действия добровольцев, прибывших из других районов?			
2.5	Удается ли успешно избегать ненужной помощи?			
2.6	Справедливо ли распределяется гуманитарная помощь?			
2.7	Поддерживается ли контакт с группами семей?			
2.8	Успокоены ли жители, проживающие в поврежденных, но безопасных для жизни домах?			
2.9	Выбрано ли подходящее место для размещения временного жилья?			
2.10	Учитываются ли семейные и соседские отношения, социально-экономические и культурные потребности при создании убежищ для пострадавших?			
2.11	Организуются ли группы семей из пострадавших?			
2.12	Возникли ли проблемы с: 2.12.1 снабжением водой, 2.12.2 обеспечением одеждой, обувью и одеялами, 2.12.3 обеспечением продуктами питания, 2.12.4 организацией пунктов приготовления горячей пищи, 2.12.5 установкой общественных туалетов, 2.12.6 организацией пунктов для стирки белья и мытья посуды, 2.12.7 утилизацией бытовых отходов?			
2.13	Проводятся ли короткие совещания для обсуждения различных проблем и путей их решения?			
2.14	Предпринимаются ли усилия для создания атмосферы солидарности, взаимопомощи и конструктивных действий населения?			
2.15	Возобновлена ли работа школьных учреждений?			
2.16	Принимают ли участие дети в общественных мероприятиях?			
2.17	Проведены ли мероприятия по пресечению ложных слухов?			
2.18	Приняты ли меры, обеспечивающие беспристрастность в распределении гуманитарной помощи?			
2.19	Уделяется ли внимание тому, чтобы добровольцы из других районов не заняли рабочие места местного населения, а лишь помогали справиться с ситуацией?			
2.20	Оказана ли поддержка и помощь пострадавшим в восстановлении их деятельности?			
2.21	Предприняты ли инициативы, способствующие восстановлению экономики за счет наиболее рационального использования местных ресурсов?			
2.22	Предпринимаются ли усилия для участия населения в составлении планов реконструкции, восстановления и развития и соответствия этих планов нуждам и культурным потребностям населения?			
2.23	Предпринимаются ли действия, чтобы избежать: 2.23.1 задержек, 2.23.2 ненужных дискуссий, 2.23.3 необъективного отношения,			

		+	±	−
	2.23.4 спекуляций, 2.23.5 недобросовестных отношений, 2.23.6 насилия?			
3.	**Вопросник для определения мероприятий для обеспечения готовности к катастрофе**			
3.1	Создана ли комиссия по чрезвычайным ситуациям?			
3.2	Активно ли работает эта комиссия?			
3.3	Предприняты ли усилия для: 3.3.1 анализа уроков предыдущих чрезвычайных ситуаций, 3.3.2 оценки риска катастрофы в регионе и ее возможных последствий, 3.3.3 определения имеющихся ресурсов для ликвидации последствий катастрофы, 3.3.4 обучения добровольцев спасению пострадавших и оказанию первой помощи, 3.3.5 информирования и обучения населения о природных опасностях и поведении во время катастрофы: 3.3.5.1 в школах, 3.3.5.2 в учреждениях, 3.3.5.3 в обществе, 3.3.5.4 в общественных организациях?			
3.4	Составлен ли план на случай чрезвычайной ситуации с учетом следующих существенных сфер деятельности: 3.4.1 работ по спасению пострадавших, 3.4.2 оказанию помощи в случае чрезвычайной ситуации, 3.4.3 обеспечению связи, 3.4.4 обеспечению: 3.4.4.1 водой, 3.4.4.2 продуктами питания, 3.4.4.3 снабжением электроэнергией, 3.4.5 обеспечению временным жильем, если в этом есть необходимость, 3.4.6 обеспечению работы транспорта, 3.4.7 обеспечению выполнения санитарных норм, 3.4.8 распространение информации и инструкций?			
3.5	Проведены ли учебные тренировки на случай чрезвычайной ситуации в целях подготовки?			
3.6	Предусмотрены ли мероприятия по объединению усилий с соседними регионами на случай катастрофы?			

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
Основные понятия и определения 8
Сейсмическая опасность 9
Вторичные процессы и явления, сопровождающие землетрясения 12
Уязвимость 14
Оценка уязвимости 17
Оценка сейсмического риска 22
Пример расчета сейсмического риска 24
Заключение 30
Литература 31
Приложение 1. Шкала сейсмической интенсивности ГОСТ 6249-52 (1952 г.) 33
Приложение 2. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64 38
Приложение 3. Значения ускорений колебаний грунта (см/с^2) при интенсивностях землетрясений I = 6, 7, 8, 9 баллов в разных шкалах, используемых в Российской Федерации 44
Приложение 4. Зональные характеристики г. Иркутска 45
Приложение 5. Форма учета мероприятий по готовности к землетрясениям [*Mitigating...*, 1991] 47
Приложение 6. Форма оценки ситуации и проведения мероприятий на случай катастрофы [*WHO*, 1989] 49

Список таблиц

Таблица 1. Ущерб, причиненный землетрясениями с интенсивностью 7 баллов на рассматриваемой территории 4
Таблица 2. Ущерб, причиненный землетрясениями с интенсивностью 8 баллов на рассматриваемой территории 4
Таблица 3. Ущерб, причиненный землетрясениями с интенсивностью 9 баллов на рассматриваемой территории 5
Таблица 4. Сравнительная оценка потерь от землетрясений за последние десятилетия по данным страховой компании Munich Re .. 6
Таблица 5. Последствия вторичных воздействий землетрясений 12
Таблица 6. Систематизация последствий вторичных воздействий землетрясений 14
Таблица 7. Ожидаемые коэффициенты повреждаемости *Kd* для различных типов зданий в зависимости от интенсивности землетрясений (по материалам Б.А. Кирикова) 19
Таблица 8. Матрица вероятности повреждений различной степени при различной интенсивности *I* [*Mitigating...*, 1991] 20
Таблица 9. Матрицы вероятности повреждений для зданий различного типа по данным инженерного анализа последствий сильных землетрясений в Турции [*Proc. of the UNDRO*, 1984] 20
Таблица 10. Экспертная оценка уязвимости транспортных сооружений при землетрясениях (по материалам Г.С. Шестоперова) 21
Таблица 11. Соотношение раненых и убитых в зависимости от степени разрушений современных зданий [*Mitigating...*, 1991] 21
Таблица 12. Соотношение раненых и убитых (в % от числа жителей) в зависимости от степени повреждений современных зданий 21
Таблица 13. Уязвимость зданий при землетрясениях разной интенсивности по оценкам ИЗК СО РАН 25

Список рисунков

Рис. 1. Динамика роста потерь от катастрофических землетрясений за период 1960-1995 гг. по данным страховой компании в Мюнхене 7
Рис. 2. Функции уязвимости кирпичных зданий 18
Рис. 3. Сводная карта сейсмической опасности территории г. Иркутска в баллах (7, 8, 9) с указанием названий микрорайонов города 26
Рис. 4. Сводная карта сейсмической опасности территории г. Иркутска в баллах (7, 8, 9) с указанием номеров зон города по Приложению 4 27
Рис. 5. Прямой ущерб, отнесенный к квадратному метру жилья, от максимального возможного землетрясения в условных единицах 28
Рис. 6. Сейсмический риск для территории г. Иркутска за 50 лет, отнесенный к квадратному метру жилья, в условных единицах 29

По вопросам проведения работ по оценке сейсмической опасности, уязвимости населения, зданий и сооружений, а также оценке сейсмического риска можно обращаться:

в головной институт по теме 2.2.1. ГНТП "Безопасность" — Институт сейсмологии ОИФЗ РАН,

Директор Института — член-корр. РАН
Соболев Геннадий Александрович

телефон: (095) 254-24-78
факс: (095) 254-60-40
e-mail: gost.e-ecolog.ru

и в Научно-инженерный и координационный сейсмологический центр РАН,

Директор Центра — член-корр. РАН
Николаев Алексей Всеволодович

телефоны: (095) 912-35-18;
(095) 911-27-80
факс: (095) 911-30-28
e-mail: gost.e-ecolog.ru

Издатель
Центр БСТС

gost.e-ecolog.ru