

# Методы и средства оценки и снижения сейсмического риска. Обзор

**В.А. Акатьев**, профессор, д-р техн. наук<sup>1</sup>,  
**Е.В. Метелкин**, профессор, д-р ф.-м. наук<sup>2</sup>,  
**Г.М. Нигметов**, ведущий научный сотрудник, доцент, канд. техн. наук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный социальный университет», Москва, Россия

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, Москва, Россия

e-mail: Akatiev07@mail.ru

## Ключевые слова:

сейсмический риск,  
оценка сейсмической опасности,  
уязвимость,  
методы анализа сейсмического риска,  
средства снижения сейсмического  
риска.

*Рассмотрены подходы к анализу и управлению сейсмическим риском. В хронологической последовательности представлены краткие сведения о сейсмографах, способах оценки опасности сейсмических событий, шкалах землетрясений и сейсмическом районировании территории. Приведено выражение для количественной оценки сейсмического риска. Показано, что в управлении сейсмическим риском в России в ближайшей перспективе особенно актуальны научные исследования в области создания методов оперативного прогноза сильных землетрясений и сейсмостойкого строительства. Выполнен анализ факторов, в наибольшей степени определяющих сейсмический риск.*

## 1. Введение

Инвестирование в снижение рисков эффективнее [1], чем расходование средств на ликвидацию последствий катастроф. Основой такого инвестирования является решение комплекса проблем, связанных с оценкой риска и созданием средств его снижения. В указанном комплексе следует выделить проблемы в области сейсмического риска. За тысячелетнюю историю землетрясения стоили жизни 15 млн человек [2]. Ежегодно от землетрясений погибает около 10 тыс. человек.

Катастрофические землетрясения, происходящие вблизи крупных городов, вызывают одномоментную гибель тысяч людей (число раненых обычно в два-три раза больше), ущерб от сопутствующих бедствий (пожаров, наводнений, цунами, оползней, эпидемий). Психологические травмы людей, переживших землетрясения, могут сопровождать их всю оставшуюся жизнь.

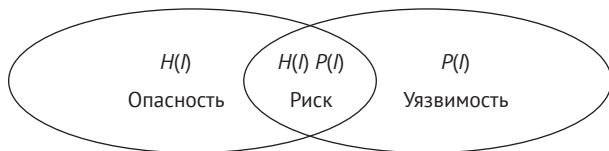
В России в зонах сейсмической опасности проживают 20 млн человек, причем около 2 млн — в зонах, где интенсивность землетрясений достигает

8–9 баллов [3]. Несмотря на значительные научно-технические достижения в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства, сегодня не до конца решены проблемы оценки «сейсмической опасности»: оперативного прогноза сильных событий, оценки (контроля) опасности разрушения зданий при землетрясениях.

## 2. Методология анализа сейсмического риска

Риск в математической модели это результат пересечения двух событий (процессов) — опасности и уязвимости, которые характеризуются частотой возникновения опасных (поражающих) факторов, определенной интенсивностью и уязвимостью реципиентов риска (рис. 1) [4, 5].

Математическая модель сейсмического риска (рис. 1) слишком абстрактна и недостаточно информативна, поскольку в ней не представлены типы зданий, виды негативных последствий для зданий и для людей, находящихся в них. Поэтому при анализе риска модель следует заменить «деревом» событий, содержащим характеристики по возможным сцена-



**Рис. 1.** Модель риска:  
 $H(I)$  – частота возникновения события интенсивностью  $I$ ;  $P(I)$  – вероятность уязвимости реципиента риска от  $I$ ;  $H(I) \cdot P(I)$  – риск определенных потерь для  $i$ -го реципиента риска от возникновения опасности интенсивностью  $I$

риям развития чрезвычайной ситуации. В структуре сейсмического риска под «опасностью» следует понимать вероятность образования обломков здания при событии интенсивностью  $I$  баллов. Указанные обломки (при условии нахождения людей в здании и отсутствии эвакуации из здания) представляют опасность для людей, находящихся в здании. «Дерево» событий для отдельного здания с выделением в нем основных сценариев развития катастрофического события представлено на рис. 2.

Интерес к разработке научных методов анализа сейсмического риска и средств его снижения активизировался в конце XIX в. Во второй половине XIX в. сейсмологи выявили закономерности в возникновении сейсмических событий, в соответствии с которыми сильным землетрясениям подвержены молодые горные системы, а области с древними горными хитами практически не подвергаются сильным зем-

летрясениям [6]. Кроме того, стала понятна природа возникновения событий, обусловленных движением тектонических плит. Землетрясение было определено как быстрый переход накопленной потенциальной энергии упруго деформированных (сжатых или растянутых) горных пород в энергию сейсмических волн и изменения структуры пород в очаге землетрясения [6]. Указанный переход возможен при превышении предела прочности пород в очаге землетрясения. Землетрясение проявляется в подземных толчках и колебаниях земной поверхности и обусловлено быстрым смещением участка земной коры как целого в момент пластической (хрупкой) деформации упруго напряженных пород в очаге землетрясения. Само смещение происходит за счет разрядки-уменьшения упругих деформаций в объеме всего участка плиты в ходе его смещения к положению равновесия (к состоянию с минимальными упругими деформациями). Большинство очагов землетрясений возникает близ поверхности Земли.

Сегодня наука может ответить на многие вопросы, касающиеся природы и механизма землетрясений, их географического распределения, частоты повторения событий, сейсмостойкого строительства. Ученые близки к решению проблемы оперативного и краткосрочного прогноза землетрясений. Научно-технические достижения опираются на открытия и изобретения ученых, основывающиеся на экспериментальных данных, полученных с применением современной измерительной аппаратуры.



**Рис. 2.** «Дерево» событий для анализа риска гибели людей в здании при сейсмическом событии (условно раскрыта «ветка дерева», относящаяся к степени повреждения здания  $d = 5$ ). Обозначения: вероятность  $P_{зд}$  – нахождения людей в здании;  $P_d$  – получения зданием  $d$ -й степени повреждения;  $P_{эв}$  – эвакуации людей из здания перед сейсмическим событием;  $P_r$  – гибели в завалах.

### 3. О регистрации сейсмических событий и их картографировании.

#### *История развития*

В 132 г. китаец Чжан Хен изобрел сейсмоскоп [7], состоящий из сосуда, на внешней стороне которого закреплены восемь драконов с бронзовыми шарами в пасти каждого. У основания сосуда, строго под драконами, установлены фигуры восьми жаб. Маятник, находящийся внутри сосуда, при отклонении вызывает падение шара из пасти дракона. При сейсмическом событии шар падает в пасть одной из жаб (рис. 3, см. на обложке 3), регистрируя факт землетрясения и его направление. Являясь уникальным прибором для своего времени, данный сейсмоскоп фиксировал только сейсмическое событие, но не определял его силу.

В 1855 г. итальянский сейсмолог Луиджи Пальмиери изобрел сейсмограф, записывавший сейсмограммы. Этот прибор близок по конструкции к современному сейсмографу, он способен фиксировать точное время первого толчка и записывать на барабан последующие амплитуды и частоты колебаний земли. В состав сейсмографа входит шарообразный сосуд с ртутью, специальный контейнер с часами и барабан для регистрации колебаний земли [8]. При землетрясении ртуть проливалась в специальный контейнер в зависимости от направления колебаний. Индикатор контакта с контейнером останавливал часы, указывая точное время, и запускал запись колебаний земли на барабан (рис. 4, см. на обложке 3).

В 1858 г. ирландский инженер-строитель Роберт Маллет составил изосейсмические карты, на которых места со схожими разрушениями он соединил линиями и выделил зону, где землетрясение проявилось с наибольшей силой [7, 8]. Карты Маллета позволяли находить эпицентры землетрясений и сравнивать масштабы разрушений. Впервые на картах он наглядно показал, что землетрясения концентрируются в опоясывающих Землю узких зонах, но объяснить это не смог. Маллет измерил скорость распространения сейсмических волн в грунте, взрывая заряд черного пороха в километре от места наблюдения и фиксируя по возмущению поверхности ртути время прихода волны. Этим он открыл эпоху экспериментальной сейсмологии.

В 1875 г. итальянский ученый Филиппо Секи сконструировал сейсмограф, который включал часы в момент первого толчка и записывал первое колебание [8]. Первая дошедшая до нас сейсмическая запись сделана именно с помощью этого прибора в 1887 г.

В 1879 г. шотландский физик Джеймс Юинг, находясь в Японии, сконструировал и изготовил сейсмограф, близкий к современному. В качестве груза для

маятника было применено чугунное кольцо массой 25 кг, подвешенное на стальной проволоке.

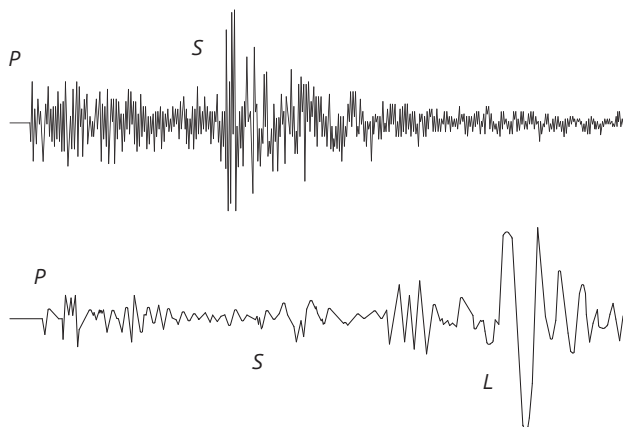
В 1892 г. группа английских ученых создала первый удобный в обращении сейсмограф Джона Милна [8]. Сейсмограф имел маятник с системой регистрации колебаний. Первоначально на конце маятника помещалось перо, процарапывавшее линию на закопченной бумаге, которую потом покрывали закрепляющим составом. Но на маятник сейсмографа с механической регистрацией сильное влияние оказывало трение пера о бумагу. Чтобы уменьшить это влияние, необходима очень большая масса маятника. Для исключения влияния трения пера о бумагу в сейсмографе стал применяться оптический способ записи. С этой целью на оси вращения укреплялось зеркальце, которое освещалось через объектив, а отраженный луч попадал на фотобумагу, намотанную на вращающийся барабан (рис. 5, см. обложку 3).

В 1906 г. в России был изготовлен первый электромагнитный сейсмограф Голицына [6, 8], который был громоздким, но обладал высокой чувствительностью (амплитуда колебаний грунта — тысячные доли миллиметра), что позволило производить измерения на расстоянии до 20 тыс. км от эпицентра. В середине XX в. электромагнитный сейсмограф стал облегченным и похожим на современные приборы [9] (рис. 6, см. обложку 3).

Создание к началу XX в. сейсмографов, методов отображения на картах сейсмических событий и открытие способов экспериментального измерения параметров сейсмической волны создало новые возможности для изучения землетрясений. Оказалось, что сейсмограммы землетрясений содержат ответы на многие вопросы, связанные с определением гипоцентра и мощности, прежде всего, о времени сейсмического толчка, магнитуде, расстоянии от эпицентра, глубине очага. Анализ сейсмограммы заключается в определении моментов наступления отдельных фаз, природы волн и их причины в пространстве и времени (эпицентр, глубина очага, время в очаге), в оценке ориентировочных путей и времени прохождения сейсмических волн.

При анализе важно выделить на сейсмограмме типы сейсмических волн: продольные короткие волны  $P$ ; поперечные волны с большей длиной и амплитудой  $S$ ; поверхностные волны  $L$  (волны Релея  $LR$  и волны Лява  $LQ$ ) гораздо большей длины, их амплитуда так велика, что зигзаги превышают 10 сантиметров. Примеры сейсмограмм близкого и дальнего землетрясений представлены на рис. 7 [6, 9].

Земную кору можно представить в виде слоя или нескольких слоев, в которых скорость сейсмических волн меньше, чем в нижележащей мантии. Основные волны, распространяющиеся в такой структуре, —

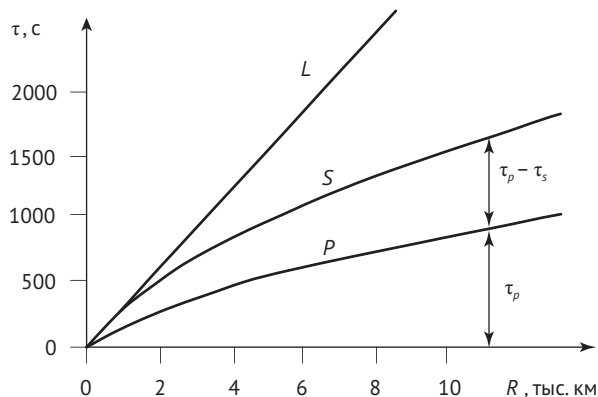


**Рис. 7.** Сейсмограммы близкого и дальнего землетрясений. Продолжительность записи землетрясения (мин) близкого — 2, дальнего — 20;  $P, S, L$  — соответственно, продольные, поперечные и поверхностные сейсмические волны.

прямые продольные и поперечные, их обозначают  $P, S, L$ , преломленные в мантию и распространяющиеся в ней приблизительно вдоль границы, проникая в мантию на небольшую глубину. На очень малых расстояниях приходят только прямые волны.

Преломленные волны выходят на поверхность Земли, начиная с расстояния, соответствующего критическому углу падения волны на границу кора–мантия. Сначала они приходят позже прямых, но, начиная с расстояния около 200 км, обгоняют их и приходят в первых вступлениях [6, 9]. Из трех видов колебаний, одновременно зародившихся в гипоцентре, продольные волны  $P$  приходят первыми, поскольку они распространяются с наибольшей скоростью. Поперечные волны  $S$  распространяются с меньшей скоростью, а поверхностные волны  $L$  еще медленнее. Отсюда можно сделать вывод, что фаза  $P$  соответствует вступлению продольных волн (расширению — сжатию), а фаза  $S$  — вступлению поперечных волн. Поверхностные волны  $L$  распространяются с постоянной скоростью, а скорость распространения продольных  $P$  и поперечных  $S$  волн есть функция расстояния от эпицентра (рис. 8). Время пробега волны тем продолжительнее, чем больше расстояние между сейсмической станцией и эпицентром землетрясения [6].

Первое время координаты очагов землетрясений определялись по годографам  $P$  и  $S$  следующим образом. По сейсмограммам определялась разность вступления фаз  $P$  и  $S$ . По годографам  $P$  и  $S$  волн определялось расстояние  $R$ , на котором разность прихода этих волн равна наблюдаемой ( $\tau_p - \tau_s$ ). Уже в 1900 г. функционировала мировая сеть из 40 сейсмологических станций, оборудованных приборами [7, 10]. В мире были созданы все условия для решения проблемы классификации землетрясений.



**Рис. 8.** Кривые распространения сейсмических волн  $P, S, L$ . Обозначения:  $\tau$  — время;  $R$  — расстояние от эпицентра землетрясения;  $\tau_p$  — время пробега от очага до станции;  $(\tau_p - \tau_s)$  — разность промежутка времени между приходом волн  $P$  и  $S$ .

#### 4. Классификация землетрясений

Попытки классифицировать землетрясения по описаниям ощущений от них можно найти у античных авторов и в эпоху Возрождения. Позднее появились описательные шкалы, имевшие свои национальные особенности. Так, в 1878 г. итальянец де Росси и швейцарец Форель совместно разработали 10-балльную шкалу интенсивности землетрясений [7]. Эта шкала была использована при описании землетрясения в Сан-Франциско в 1906 г.

В 1902 г. итальянский геолог Джузеппе Меркалли создал 12-балльную шкалу интенсивности землетрясений. В ней интенсивность землетрясения в баллах определялась по внешним признакам — по данным о разрушениях и числу пострадавших людей [7]. В 1932 г. шкала Меркалли была модифицирована Вудом и Нейманом и переработана для условий Калифорнии. Указанная шкала до сих пор используется в США с обозначением ММ — модифицированная шкала Меркалли [9].

В 1900 г. в Японии введена 7-балльная шкала, предложенная Ф. Омори и учитывающая национальные особенности. Позднее указанная шкала несколько раз (1920, 1932 и 1950) дорабатывалась [2, 6, 7].

В 1935 г. в США Ч. Рихтер разработал 10-балльную шкалу магнитуд [6, 9, 10, 11], основанную на оценке энергии сейсмического события. Магнитуда землетрясения — условная величина, характеризующая общую энергию упругих колебаний ( $E$ ), вызванных землетрясением или взрывом, пропорциональна логарифму энергии землетрясения. Для магнитуды как функции от энергии Гутенберг (совместно с Рихтером) предложил следующую зависимость [10]:

$$\lg E = 9,4 + 2,1M - 0,054 M^2, \quad (1)$$

где:  $E$  — энергия, Дж;  $M$  — магнитуда.

Рихтер предложил простой экспериментальный метод определения магнитуды  $M$  с помощью сейсмографа — как число, пропорциональное десятичному логарифму амплитуды ( $A$ , мкм) наиболее сильной волны, записанной стандартным сейсмографом на расстоянии 100 км от эпицентра землетрясения, т.е.  $M = \lg A$ .

В 1937 г. в СССР была опубликована первая в мире карта общего сейсмического районирования территории страны [8], в которой была использована 12-балльная шкала интенсивности землетрясений, введенная в СССР как нормативный документ.

В 1964 г. Межправительственное совещание ЮНЕСКО по сейсмологии и сейсмостойкому строительству рекомендовало к временному использованию международную 12-балльную шкалу землетрясений MSK-64 [4], разработанную Медведевым (СССР), Шпонхойером (ГДР) и Карникой (Чехословакия).

По шкале MSK-64 землетрясения по интенсивности их проявления на поверхности подразделяются на 12 баллов.

- I–IV балла — слабые землетрясения: III балльные земные колебания ощущаются немногими людьми в помещении.
- V–VII баллов — сильные землетрясения: при V баллах — качаются висячие предметы, в помещениях его замечают все люди. При VI баллах появляются повреждения в зданиях.
- VIII–XII баллов — сильнейшие землетрясения: при VIII баллах — серьезные повреждения в зданиях с обрушением. Люди впадают в состояние испуга и паники. При X баллах — всеобщее разрушение зданий, нарушение поверхности почвы.

Для сильнейших землетрясений применяется более детальная классификация в зависимости от их интенсивности: разрушительные (VIII баллов), опустошительные (IX баллов), уничтожающие (X баллов), катастрофические (XI–XII баллов).

Интенсивность землетрясения может оцениваться в ускорениях движения грунта, для этого существует следующая эмпирическая зависимость:

$$I = 6 \lg a + 0,5, \quad (2)$$

где  $a$  — ускорение движения грунта, в  $\text{см}/\text{с}^2$ .

При известных координатах гипоцентра землетрясения и магнитуде  $M$  интенсивность сейсмического воздействия  $I$  в известной зоне возможных землетрясений можно оценить, используя эмпирическую зависимость, предложенную Н.В. Шебалиным [4]:

$$I = b \cdot M - v \cdot \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + C, \quad (3)$$

где:  $\Delta$  — эпицентральное расстояние, км;

$h$  — глубина очага землетрясения, км;

$b, v, c$  — региональные константы. Для территории России:  $b = 1,5; v = 3,5; c = 3,0$ .

В 1986 г. шкала MSK-64 была модернизирована, введена типизация зданий с точки зрения их уязвимости и нормативно приняты степени разрушений (повреждений) зданий, модернизированная шкала стала носить название MMSK-86 [12]. С 1998 г. в Европейском союзе используется шкала EMS-98, учитывающая эффекты землетрясения [7].

В 2000 г. в России издан комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97 [13, 14]. Таким образом, в настоящее время существует несколько сейсмических шкал, в которых воздействие на здание выражается через интенсивность, причем интенсивность по разным шкалам имеет разное значение. Существующие измерительные средства сейсмических воздействий (акселерометры, велосиметры, датчики перемещений) позволяют измерить параметры сейсмического воздействия в размерности физических величин (СИ), а не в интенсивности землетрясений, поэтому возникает необходимость перевода ускорений, скоростей, перемещений в интенсивность и наоборот. Может быть, настало время отказаться от использования интенсивности в пользу параметров в размерности физических единиц, чтобы не искажать данные, получаемые измерительными средствами.

## 5. Прогнозирование сейсмической опасности

Под *сейсмической опасностью* понимается вероятность появления сейсмического воздействия определенной силы на заданной площади в течение заданного интервала времени. Сейсмическая опасность характеризуется частотой  $N$  возникновения землетрясения и интенсивностью  $I$  (или ускорениями колебаний грунта) на заданной площади [10].

Понятие прогнозирования сейсмической опасности включает предсказание места, энергии и времени землетрясения. В зависимости от периода времени, на который осуществляется прогноз, различают следующие его виды: *оперативный* (от часа до суток); *краткосрочный* (от одних суток до года); *среднесрочный* (от года до 10 лет); *долгосрочный* (на десятилетия).

Катастрофичность землетрясений обусловлена неожиданностью их возникновения, что связано с отсутствием научно обоснованных методов достоверного оперативного прогноза. В то же время существуют природные явления, так называемые предвестники, которые являются или частью процессов взаимодействия литосферных плит при подготовке сейсмического события, или сопровождают указанные процессы. Сегодня многие явления могут



фиксироваться инструментально и успешно рассматриваться в качестве предвестников землетрясений.

*Оперативный и краткосрочный прогнозы*

Наиболее сложно прогнозировать сейсмическое событие за часы или минуты до времени его возникновения. Известно несколько катастрофических землетрясений, от которых население городов не погибло благодаря реализации успешного оперативного прогноза. Одно из таких событий — это катастрофическое землетрясение 04.02.1975 г. в г. Хайчэн (Китай). Население города (100 тыс. человек) было выведено из города за 5 часов до события [2, 7]. Прогноз был основан только на наблюдении аномального поведения животных за несколько часов до возникновения сейсмического события [7, 10].

Известны физические поля, которые сопровождают подготовку землетрясений и на основе имеющейся научно-методической и инструментальной базы сегодня поддаются измерению и анализу. К таким предвестникам относятся [2, 10]:

- ионосферные всплески электромагнитных излучений над эпицентром подготавливаемого события (низкочастотные шумы частотой 100–20 кГц), а также изменение плотности и температуры плазмы, возникающие за несколько часов до сильного события;
- увеличение концентрации радона в газовом составе скважин, за 2–3 недели до события;
- появление скачка атмосферного давления, за 2–8 суток до события, а непосредственно перед землетрясением — дожди и грозы;
- уменьшение содержания озона в атмосферном воздухе, за несколько дней до землетрясения;
- эффект уменьшения кажущегося электрического сопротивления пород на глубине до 20 км, за 2–3 месяца до события, этот эффект объясняется изменением электрических свойств пород на глубине из-за привноса жидкости и изменения давления;
- изменение уровня грунтовых вод, скачки дебета скважин, за полгода-год до события;
- изменение соотношений между продольной и поперечной скоростями сейсмических волн. Если отношение скоростей падало 2 месяца, то через 2 месяца следует ожидать события;
- появление высоких тонких облаков над разломными зонами, за несколько суток перед землетрясением. Фиксируются со спутников и космических станций. Образуются они, скорее всего, из-за выбросов глубинных газов и аэрозолей, которые служат ядрами конденсации атмосферной влаги (рис. 9, см. на обл. 3).

Смена хаотичности в направлениях напряжения осей сжатия в строгую их ориентацию в области азимутов 90–180° за 1,5 года до события, а за 3–4 месяца до события оси сжатия резко меняют свои направления на азимуты менее 90°.

Для мониторинга концентрации повышенных сейсмических напряжений при взаимных смещениях тектонических плит используются высокочувствительные спутниковые радары и высокоточные геодезические «Глонасс–GPS»-системы. Применяются дистанционное зондирование Земли с геостационарных спутников с часовым и получасовым интервалом [5, 7, 8], полярно-орбитальных спутников зондирования территории в суточном интервале, наблюдение за геофизическими полями, в том числе за уровнем воды в скважинах, выделением газов, химическим составом подземных вод, атмосферным электричеством (свечения атмосферы, электромагнитные волны, форма и размеры облаков).

В 2003 г. был открыт принципиально новый физический эффект трехмерного измерения гравитационного поля перед сильным землетрясением, на огромных расстояниях от эпицентра (от 1000 км до 10000 км). Этот эффект может стать основой создания принципиально нового физического инструмента — торсионного детектора трехмерных гравитационных вариаций.

*Краткосрочный прогноз* строится на комплексном анализе геофизических и сейсмологических предвестников, закономерностях поведения слабых землетрясений в разные периоды подготовки более сильного сейсмического события. Один из эффективных признаков — изменение наклона зависимости Гутенберга–Рихтера [11]:

$$\lg N = a - bM, \quad (4)$$

где:  $N$  — число событий с магнитудой равной или больше  $M$ ;  $a$ ,  $b$  — региональные константы. Константа  $a$  обычно равняется 1,0 для сейсмически активных регионов. В зависимости от тектонической структуры региона константа  $b$  может лежать в пределах от 0,5 до 1,5.

При большом числе событий зависимость представляется прямой линией (рис. 10).

В период подготовки сильного землетрясения график проявляет себя как случайная величина. Как только напряжения в гипоцентре будущего землетрясения приблизятся к значению, при котором произойдет землетрясение, слабая сейсмичность станет более упорядоченной, наклон графика повторяемости изменится. Чем ближе по времени момент сильного сейсмического воздействия, тем больше воз-

никает сильных событий, в результате чего наклон графика повторяемости уменьшится.

На приближение времени сейсмического события указывают предвестники — изменение параметров ионосферы, формы облаков [2, 10], температуры нижних слоев атмосферы и ряд других параметров. При использовании мониторинговых наблюдений за признаками, указывающими на приближение сейсмического события, можно прогнозировать с точностью до 5 суток землетрясения силой более 5,5 балла.

В 2008 г. в рамках международной программы (GNFE) создана Глобальная сеть прогнозирования землетрясений, странами — участниками которой стали Австрия, США, Индонезия, Пакистан, Азербайджан, а в качестве ассоциативных партнеров — научные организации Турции, Казахстана и Узбекистана. Станции прогнозирования землетрясений размещены в Пакистане, Азербайджане и Индонезии. Станции прогнозирования автоматически и автономно передают информацию в США (La Habra). Одно из принципиальных отличий новой технологии прогнозирования землетрясений в том, что во время прогноза указываются не только место, сила и время, но и число прогнозируемых сильных землетрясений.

#### Среднесрочный и долгосрочный прогноз

Функции распределения  $F(I)$  интенсивности землетрясения  $I$  для сейсмоактивных регионов свидетельствуют о том, что интенсивность сейсмических событий для сейсмоопасного региона в основном распределена в интервале от 5 до 7 баллов (рис. 11).

В долго- и среднесрочном прогнозах широко используется сейсмическое районирование. Карты общего сейсмического районирования (ОСР-97) [9, 11, 12], сейсмическое микросейсморайонирование, матрицы цифровой информации о повторяемости сотрясений разной интенсивности, а также каталоги землетрясений позволяют более системно подходить к проблеме долго- и среднесрочного прогноза землетрясений и сейсмостойкого строительства [13, 14, 15]. Карты сейсморайонирования типа А, В и С обязательно используются при проектировании зданий и сооружений для разработки антисейсмических мероприятий. Каждый тип карты предусматривает определенную вероятность сейсмического события на следующие средние интервалы времени между землетрясениями расчетной интенсивности: 500 лет (карта А), 1000 лет (карта В), 5000 лет (карта С). Список населенных пунктов Российской Федерации, расположенных в сейсмических районах, с указанием расчетной сейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической опасности — А (10%), В (5%), С (1%)

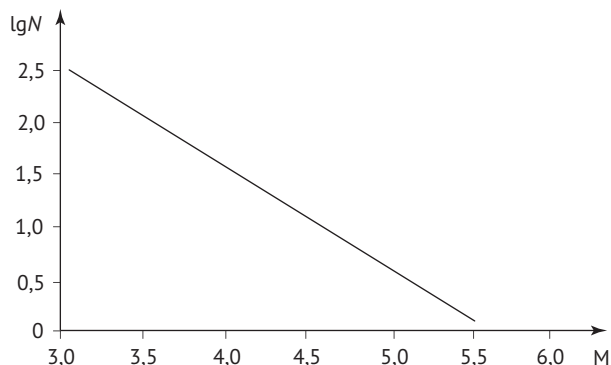


Рис. 10. График повторяемости Гутенберга-Рихтера

в течение 50 лет, приведен в приложении А к своду правил по сейсмостойкому строительству.

Карта А предназначена для проектирования объектов нормального и пониженного уровня ответственности, а карты В и С — для оценки сейсмичности района при проектировании объекта повышенного уровня ответственности (рис. 12, см. на обл. 3).

Заблаговременное определение для сейсмостойкого строительства интенсивности землетрясений осуществляется с использованием карт ОСР. Для регистрации колебаний земной коры, параметров землетрясений в мире имеется более 2000 стационарных сейсмологических станций и центров. Кроме того, используются экспедиционные сейсмографы, в том числе устанавливаемые на дне океана. Данные о землетрясениях передаются через Интернет и служат для прогнозирования последствий землетрясений. Одновременно сведения систематически публикуются в сейсмологических бюллетенях и каталогах.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций — ВНИИ ГОЧС (ФЦ) —

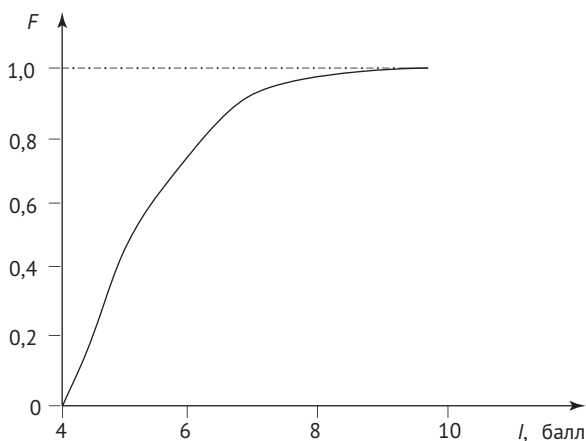


Рис. 11. Функция распределения  $F(I)$  интенсивности землетрясения для Камчатского региона [3]

в 1996–2010 гг. велось круглосуточное дежурство с использованием ГИС-программы «Экстремум», включающей математические модели по прогнозированию последствий и оценке рисков, базы данных о сейсмостойкости зданий, тектонике и геологии, базы знаний по расчету необходимых сил и средств для выполнения спасательных работ. При этом компьютеры с ГИС, находящиеся в дежурном режиме, автоматически принимали информацию от сейсмологических служб и автоматически рассчитывали последствия сильных землетрясений.

В большой степени правильный расчет последствий зависит от правильно построенного макросейсмического поля интенсивности, данных о сейсмостойкости. Для этого в базу данных ГИС должны быть правильно заложены сведения о рельефе, тектонике и геологии, сейсмостойкости.

### 6. Уязвимость зданий и риск при землетрясениях

Понимание сейсмического риска было официально оформлено в 1972 г. на Шестом Европейском конгрессе по сейсмическому строительству. Ученые впервые пришли к классическому пониманию риска. Впервые понятие «риск» перестало отождествляться с понятием «опасность», эти понятия были разделены и получили новые определения. Под опасностью начали понимать частоту возникновения определенных опасных физических полей (интенсивностей землетрясения), а под риском — негативные последствия для человека и окружающей среды от указанных полей. В 1977 г. Роув [4] определил риск как «вероятностные потери» от определенной чрезвычайной ситуации за определенное время. В России математическая модель риска была предложена А.Л. Рогозиным.

*Сейсмический риск* — это результат пересечения двух событий для реципиента риска: возникновения на определенной территории землетрясения интенсивностью  $I$  баллов за определённый период и негативных потерь от возникшей опасности интенсивностью  $I$ . Следовательно, под риском понимается частота определенных негативных потерь для реципиента риска. Определяется как суперпозиция сейсмической опасности и уязвимости различных элементов риска (людей, объектов жизнеобеспечения и т. д.).

*Уязвимость* — вероятность потерь (разрушения зданий, причинения вреда здоровью или гибели людей, ущерба окружающей среде и т. п.) от воздействия интенсивности  $I$ .

Применение понятия «риск» позволяет переводить опасность и уязвимость в разряд измеряемых категорий (частоту определенных вероятностных потерь). В настоящее время по отношению к возможным катастрофическим событиям в международной практике

используется понятие «риск бедствия». В этом понятии объединены все возможные виды рисков, присущие вероятным катастрофическим событиям.

Для оценки последствий землетрясения недостаточно знать интенсивность сотрясений в баллах, необходимо понимать, как строительный объект будет взаимодействовать с трясущимся основанием, предвидеть последствия возможных толчков для зданий различных типов. В 1986 г. международная модернизированная шкала землетрясений MMSK-86 нормативно закрепила классификацию зданий (сооружений) по сейсмостойкости и степени их разрушения [12]. Это облегчило задачу создания методического аппарата для прогнозирования потерь и сейсмического риска. В соответствии с MMSK-86 здания по сейсмостойкости делятся на типы:

- А — здания со стенами из местных строительных материалов (глинобитные, саманные, из рваного камня на глиняном растворе). Такие здания характерны для сельских районов Северного Кавказа и юга Урала;
- Б — здания из кирпича, крупных блоков, тесаного камня на цементном растворе;
- В — здания железобетонные, каркасные, крупнопанельные и армированные крупноблочные дома;
- С — здания всех видов с антисейсмическими мероприятиями (С7, С8, С9 — здания сейсмостойкостью соответственно 7, 8, 9 баллов).

В шкале MMSK-86 учитываются пять степеней ( $d = 1, 2, 3, 4, 5$ ) разрушения (повреждения) зданий при сейсмическом воздействии, рассматриваемых в совокупности как полная группа несовместимых событий. Вероятность наступления определенной степени  $d$  повреждения представлена в табл. 2.

К факторам, поражающим людей при землетрясении, относятся обломки разрушенных зданий и сооружений, интенсивность последних зависит от вероятности получения зданиями соответствующей степени поражения. Функции распределения вероятности получения зданиями не менее определенных степеней поражения представлены на рис. 13 [16, 17].

При известном семействе функций распределения (рис. 13) можно вычислить вероятность наступления  $d$  степени поражения здания  $P_d(I)$  по формуле:

$$P_d(I) = F_d(I) - F_{d+1}(I). \quad (5)$$

На основе анализа статистических данных об общих, безвозвратных и санитарных потерях во время разрушительных землетрясений определена для каждого типа зданий вероятность получения людьми соответствующей степени поражения при условии, что наступила соответствующая степень поражения зда-



Таблица 2

Математическое ожидание  $M$  интенсивности землетрясения

Тип здания по ММСК-86	Степень повреждения (разрушения) зданий $d$				
	Легкая, $d = 1$	Умеренная, $d = 2$	Тяжелая, $d = 3$	Частичное разрушение, $d = 4$	Обвал, $d = 5$
A	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
B	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
B	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
C7	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
C8	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
C9	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5

ния. Пример функции распределения вероятности поражения людей представлен на рис. 14 [17].

При прогнозировании поражения людей в жилом здании учитывается функция распределения людей в здании в течение времени суток. Для жилых зданий можно принять, что во время сна эта функция равна 1, в рабочее время — 0,75, во время поездки людей к месту работы — 0,60...0,70 (рис. 15) [16, 17].

Уязвимость населения  $V_s(I)$ , проживающего в здании, равна отношению математического ожидания числа пораженных людей с летальным исходом  $M(N)$  в результате сейсмического воздействия интенсивностью  $I$  к числу людей  $N$ , находившихся в здании, т. е.

$$V_s(I) = M(N)f(\tau)/N. \quad (6)$$

Индивидуальный сейсмический риск

$$R_{и} = HM(N)f(\tau)/N, \text{ год}^{-1}, \quad (7)$$

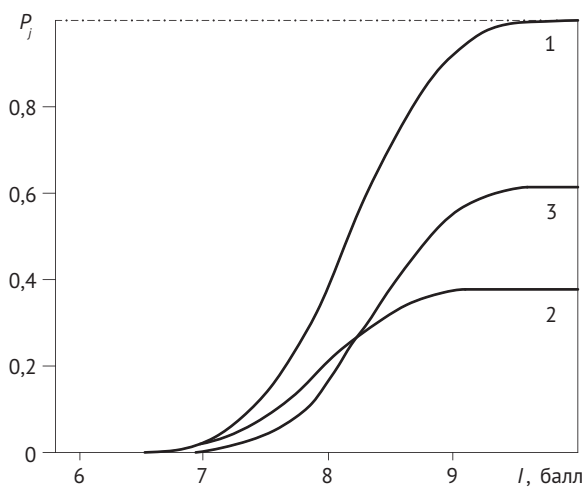


Рис. 14. Функции распределения вероятности поражения людей, находящихся в зданиях типа Б:  $j = 1$  — общие потери;  $j = 2$  — санитарные потери;  $j = 3$  — безвозвратные потери

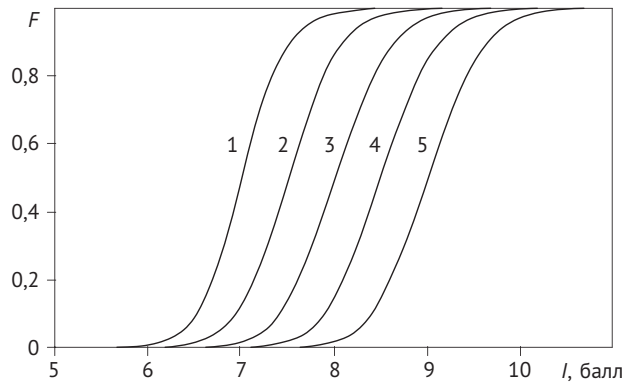


Рис. 13. Функции распределения вероятности  $F_d(I)$  получения зданиями (сооружениями) не менее  $d$  степени поражения (разрушения) при интенсивности землетрясения  $I$ :  $d = 1, 2, 3, 4, 5$

где:  $H$  — частота возникновения землетрясения,  $\text{год}^{-1}$ ;

$M(N)$  — математическое ожидание числа пораженных людей с летальным исходом, человек;

$f(\tau)$  — функция, характеризующая размещение людей в зданиях в течение суток;

$N$  — количество людей в здании, человек.

Как следует из (5), снижение сейсмического риска может быть достигнуто, во-первых, за счет применения технических решений по повышению сейсмостойкости зданий и, во-вторых, создания методов оперативного прогнозирования сейсмического воздействия с одновременной оценкой уязвимости зданий в целях эвакуации людей из них [16, 17, 19].

### 7. Защита от землетрясений и управление риском

Основа сейсмической безопасности — сейсмостойкое строительство. Это самая надежная и многократно оправдавшая себя стратегия выживания на планете, где землетрясения закономерные и неотвратимые проявления ее эволюции. Вершина современного сейсмостойкого строительства достигнута в настоящее время в Японии, что подтвердило земле-

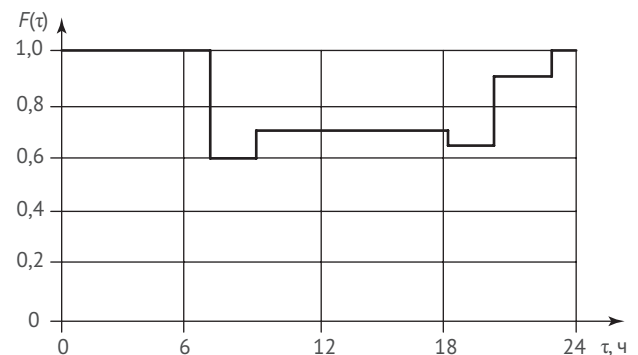


Рис. 15. Функция распределения вероятности нахождения населения в течение суток в жилых зданиях

трясение 11 марта 2011 г. Практически все инженерные сооружения современной постройки выдержали удар максимально возможного (магнитуда более 9) в земных условиях события.

В настоящее время наиболее эффективным и экономически целесообразным инструментом повышения сейсмостойкости в строительстве считается виброизоляция сейсмической нагрузки, применение адаптируемых конструкций, конструирование зданий и сооружений необходимой жесткости с учетом геологических, динамико-геофизических и рельефных особенностей строительных площадок [20–29].

Для своевременного принятия решения о возможности нахождения в здании после сейсмического воздействия важно быстро определить его жесткость и сейсмостойкость, для этого можно применять технологию динамико-геофизических испытаний «Струна–Стрела». Это технология может применяться для создания и уточнения баз данных о сейсмостойкости в ГИС «Экстремум» [29].

Сложность прогноза землетрясений связана с их неоднозначностью. Сегодня известны десятки предвестников катастрофических землетрясений, но, к сожалению, примеров удачных прогнозов единицы. Имеет значение и прогноз, который с высокой вероятностью говорит, что землетрясения не будет. Отсюда возникает проблема реализации недостоверного прогноза, т. е. проблема принятия административного решения об эвакуации населения, особенно сложной в крупных городах. Это очень дорогостоящее мероприятие колоссальной организационной сложности. Именно это обстоятельство чаще всего сдерживает управляющие органы в принятии решения об эвакуации масс людей. Это обстоятельство накладывает на людей, живущих или оказавшихся

в сейсмоопасных районах, обязанность самим уметь наблюдать и определять признаки готовящегося землетрясения. Из перечисленных выше по значимости и достоверности предвестников отметим аномальное поведение животных и аномальные явления в естественных источниках воды. Эти признаки можно наблюдать без инструментального оснащения и без специальных знаний и навыков.

В заключение приведем важные слова отечественного сейсмолога В.И. Уломова [18]: «Жители сейсмоопасных районов, по меньшей мере, должны знать, что разрушение здания или иного сооружения при землетрясении обычно происходит не мгновенно, а в течение десятков секунд, необходимых для накопления повреждений, которые и ведут к последующему разрушению объекта. Важно знать, что и наиболее интенсивные сотрясения возникают не сразу, а лишь с приходом поперечных волн, которые распространяются почти в два раза медленнее, чем продольные волны, с которых и начинаются все землетрясения. Катастрофические обрушения конструкций начинаются после воздействия поверхностных волн, приходящих позже поперечных. Этими десятками секунд и нужно воспользоваться, спасаясь от гибели!».

Как же лучше всего использовать эти драгоценные секунды? Кардинальное решение — покинуть здание, что реально, в случае нахождения в малоэтажном здании или на нижних этажах многоэтажных. Если путь эвакуации далек, нужно найти укрытие в данном помещении. Залезть под массивный стол, кровать. Встать в угол комнаты или дверной проем. Надеть толстую одежду и головной убор, накинуть одеяло. Все это способно, в какой-то мере, защитить вас от падающих предметов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пучков В.А. Глобальная интеграция во имя спасения жизни людей // Советник Президента // Информационно-аналитическое издание № 135. 2015. URL: [http://www.sovetnikprezidenta.ru/135/5\\_interpoliteh.html](http://www.sovetnikprezidenta.ru/135/5_interpoliteh.html)
2. Каррыев Б.С. Катастрофы в природе: землетрясения. Гипотезы, факты, причины, последствия. — SIBIS, 2009. — 522 с.
3. Александров А.А., Ларионов В.И., Сущев С.П. Единая методология анализа риска чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. — 2015. — № 1. — С. 112–130.
4. Rowe W.D. An Anatomy of Risk. R.E. Krieger Publishing Company, 1977–488 p.
5. Акатьев В.А. Научно-методические и организационные аспекты в управлении техногенным риском // Монография. — М.: РГСУ, 2012.
6. Яновская Т.Б. Основы сейсмологии. — СПб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2008. — 222 с.
7. Клячко М.А. Землетрясения и мы. — СПб.: РИФ «Интеграф», 1999. — 236 с.
8. Кто придумал сейсмографы — когда изобрели? URL: <http://www.altpp.ru/izobretenie-izmenivshie-istoriyuchelovechestva/sejsmograf.html>.
9. Общая геология. Том 1 / Под ред. Соколовского А.К. — М.: КДУ, 2006. — 448 с.
10. Сывороткин В.Л. Землетрясения // Пространство и время. — 2011. — № 2. — С. 1–14. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/zemletryaseniya-1>.
11. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton University Press Tahun: Deskripsi Fisik: 1954. 310 p.
12. Улучшенный вариант шкалы сейсмической интенсивности (MMSK-86) на базе шкал MSK-64 и MCCC-73

- (заключительный) / Н.В. Шебалин, И.А. Ершов, Г.С. Шестоперов и др. М.: МСССС, ИФЗ, 1986. — 61 с.
13. Страхов В.Н., Уломов В.И., Шумилина Л.С. Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных регионов // Физика Земли. — 1998. — № 10.
  14. Комплект карт ОСР-97. — М.: ОИФЗ, 1998.
  15. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. — 312 с.
  16. Акатьев В.А., Волков С.С., Ларионов В.И. и др. Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: Учебник в 3-х частях: Часть 2. Инженерное обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: в 3-х книгах: Книга 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / Под ред. С.К. Шойгу. — М.: ЗАО «Фирма «Папирус», 1998. — 176 с.
  17. Ларионов В.И., Суцев С.П., Акатьев В.А. Уязвимость инженерных сооружений при землетрясениях // В книге: Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология: в 3 т. / Том 3: Сейсмостойкость и теплозащита сооружений / Под ред. В.А. Котляревского. — М.: Изд-во АСВ, 2010. — С. 165–184.
  18. Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вестник ОГГТН РАН. — 1999. — № 1(7). URL: <http://grinikkos.com/Donload/51/ulomov.pdf>
  19. Акатьев В.А. Стратегия управления безопасностью нефтепроводных систем // Безопасность в техносфере, 2008. — № 1. — С. 6–12.
  20. Дода Л., Новикова Н., Пахомов Л., Степанов И. Космический мониторинг предвестников землетрясений // Наука в России. — 2009. — № 6. С. 30–37.
  21. Старовойт О.Е. Инструментальное сейсмическое наблюдение в России // Вестник Владикавказского научного центра, 2004. — Том 4. — № 4. — С. 15–21.
  22. Шебалин Н.В. Количественная макросейсмика (фрагменты незавершенной монографии) // Магнитное поле Земли: математические методы описания. Проблемы макросейсмики / Вычислительная сейсмология. — 2003. — Выпуск 34. — С. 57–200.
  23. Саваренский Е.Ф. Современное состояние теории сейсмостойкости и сейсмостойкие сооружения. М., 1973. URL: <http://helpstudentinfo.ru/articles/interesnye-temy-dlya-referata>
  24. Нигметов Г.М. Технология мониторинга индивидуального сейсмического риска // Доклад на V международной конференции, 7–12 октября 2012, Баку, Республика Азербайджан.
  25. Нигметов Г.М. Колебания земной коры перед разрушительными землетрясениями // CATALOQUE of seismoforecasting research carried out Azerbaijan territory in 2010/ ВАКУ-2011, с. 99–104.
  26. Шахраманьян М.А., Ларионов В.И., Нигметов Г.М., Суцев С.П., Угаров А.Н., Николаев А.В., Фролова Н.И. Методика прогнозирования последствий землетрясений. — М., 2000 г., ВНИИГО ЧС (ФЦ).
  27. Нигметов Г.М. Некоторые вопросы краткосрочного прогнозирования сейсмической опасности и риска. CATALOQUE of seismoforecasting research carried out in Azerbaijan territory in 2009. — С. 147–154.
  28. Ларионов В.И., Нигметов Г.М., Суцев С.П., Угаров А.Н., Фролова Н.И. Оценка уязвимости и сейсмического риска с использованием ГИС-технологий от возникновения неустойчивости грунтовых оснований зданий при землетрясениях // Сейсмостойкое строительство. 1999. — № 2.
  29. Нигметов Г.М., Чубаков М.Ж. Проблемы мониторинга зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство // Безопасность сооружений. 2011. — № 4. — С. 51–55.

## REFERENCES

1. Puchkov V.A. Global'naya integratsiya vo imya spaseniya zhizni lyudey [Global integration in the name of saving the life of people]. *Sovetnik Prezidenta* [Presidential Advisor]. 2015, I. 135. Available at: [http://www.sovetnikprezidenta.ru/135/5\\_interpoliteh.html](http://www.sovetnikprezidenta.ru/135/5_interpoliteh.html).
2. Karryev B.S. *Katastrofy v prirode: zemletryaseniya. Gipotezy, fakty, prichiny, posledstviya* [Accidents in the nature of earthquakes. The hypotheses, facts, causes, consequences]. SIBIS Publ., 2009. 522 p.
3. Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. Edinaya metodologiya analiza riska chrezvychaynykh situatsiy tekhnogennogo i prirodnogo kharaktera [The uniform methodology for risk analysis of emergency situations of technogenic and natural character]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Estestvennye nauki* [Vestnik MSTU. NE Bauman. Ser. Natural Sciences]. 2015, I. 1, pp. 112–130.
4. Rowe W.D. *An Anatomy of Risk*. R.E. Krieger Publishing Company, 1977. 488 p.
5. Akat'ev V.A. *Nauchno-metodicheskie i organizatsionnye aspekty v upravlenii tekhnogennym riskom* [Scientific-methodical and organizational aspects in the management of technological risks]. Moscow, RGSU Publ., 2012.
6. Yanovskaya T.B. *Osnovy seysmologii* [Basics of Seismology]. St. Petersburg, S. — Pb.un-t Publ., 2008. 222 p.
7. Klyachko M.A. *Zemletryaseniya i my* [Earthquakes and us]. St. Petersburg, RIF «Integraf» Publ., 1999. 236 p.
8. *Kto pridumal seysmografy — kogda izobreli?* [Who invented seismographs — when invented?]. Available at: <http://www.altpp.ru/izobretenie-izmenivshie-istoriyu-chelovechestva/seysmograf.html>.
9. *Obshchaya geologiya* [General Geology]. Moscow, KDU Publ., 2006, V. 1, 448 p.
10. Syvorotkin V.L. *Zemletryaseniya* [Earthquakes]. *Prostranstvo i vremya* [space and time]. 2011, I. 2, pp. 1–14. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/zemletryaseniya-1>.
11. Gutenberg B., and Richter C.F. *Seismicity of the Earth and associated phenomena*. Princeton University Press Tahun: *DeskripsiFisik*: 1954. 310 p.
12. Shebalin N.V., Ershov I.A., Shestoporov G.S. *Uluchshenny variant shkaly seysmicheskoy intensivnosti (MMSK-86) na baze shkal MSK-64 i MSSSS-73 (zaklyuchitel'nyy)* [Improved seismic intensity scale version (MMSK-86) based on MSK-64 scale and MSSSS-73 (final)]. Moscow, MSSSS, IFZ Publ., 1986. 61 p.

13. Strakhov V.N., Ulomov V.I., Shumilina L.S. Obshchee seismicheskoe rayonirovanie territorii Rossii i sopredel'nykh regionov [General seismic zoning of Russia and neighboring regions]. *Fizika Zemli* [Fiz]. 1998, I. 10.
14. *Komplekt kart OSR-97* [Card Set SRF-97]. Moscow, OIFZ Publ., 1998.
15. Sobolev G.A. *Osnovy prognoza zemletryaseniy* [Fundamentals of Earthquake Prediction]. Moscow, Nauka Publ., 1993. 312 p.
16. Akat'ev V.A., Volkov S.S., Larionov V.I. Obespechenie meropriyatii i deystviy sil likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy [Obespechenie measures and actions forces liquidation of emergency situations]. *Operativnoe prognozirovanie inzhenernoy obstanovki v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Operational forecasting of environmental engineering in emergency]. Moscow, ZAO «Firma «Papyrus» Publ., 1998. 176 p.
17. Larionov V.I., Sushchev S.P., Akat'ev V.A. Uyazvimost' inzhenernykh sooruzheniy pri zemletryaseniakh [vulnerability of engineering structures during earthquakes]. *Seysmostoykost' i teplozashchita sooruzheniy* [seismic and thermal protection structures]. Moscow, ASV Publ., 2010, pp. 165–184.
18. Ulomov V.I. Seysmogeodinamika i seismicheskoe rayonirovanie Severnoy Evrazii [Seismogeodynamics and seismic zoning of Northern Eurasia]. *Vestnik OGGGGN RAN* [Herald DGGGMS RAN]. 1999, I. 1(7). Available at: <http://grinikkos.com/Donlowd/51/ulomov.pdf>
19. Akat'ev V.A. Strategiya upravleniya bezopasnost'yu nefteprovodnykh sistem [The pipeline safety management system strategy]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere]. 2008, I. 1, pp. 6–12.
20. Doda L., Novikova N., Pakhomov L., Stepanov I. Kosmicheskii monitoring predvestnikov zemletryaseniy [Space monitoring of earthquake precursors]. *Nauka v Rossii* [Science in Russia]. 2009, I. 6, pp. 30–37.
21. Starovoyt O.E. Instrumental'noe seismicheskoe nablyudeniye v Rossii [instrumental seismic observations in Russia]. *Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo tsentra* [VSC Journal]. 2004, V. 4, I. 4, pp. 15–21.
22. Shebalin N.V. Kolichestvennaya makroseysmika [Kolichestvennaya makroseysmika]. *Magnitnoe pole Zemli: matematicheskie metody opisaniya. Problemy makroseysmiki. Vychislitel'naya seysmologiya* [Earth's magnetic field: mathematical methods to describe. Problems makroseysmiki. Computational Seismology]. 2003, pp. 57–200.
23. Savarenskiy E.F. *Sovremennoe sostoyanie teorii seysmostoykosti i seysmostoykie sooruzheniya* [Current state theory of seismic stability and seismic stability of constructions]. Moscow, 1973. Available at: <http://helpstudentinfo.ru/articles/interesnye-temy-dlya-referata/>.
24. Nigmatov G.M. Tekhnologiya monitoringa individual'nogo seismicheskogo riska [Tehnologiya individual monitoring seismic risk]. *Doklad na V mezhdunarodnoy konferentsii, 7–12 oktyabrya 2012* [Report at the V International Conference, 7–12 October 2012]. Baku, Respublika Azerbayzhan.
25. Nigmatov G.M. Kolebaniya zemnoy kory pered razrushitel'nymi zemletryaseniymi [Fluctuations in the Earth's crust to destructive earthquakes]. *CATALOGUE of seismofore castingre search carried out Azerbaijan territory in 2010* [of seismofore casting research carried from the catalog in Azerbaijan in 2010]. BAKU, 2011, pp. 99–104
26. Shakhraman'yan M.A., Larionov V.I., Nigmatov G.M., Sushchev S.P., Ugarov A.N., Nikolaev A.V., Frolova N.I. *Metodika prognozirovaniya posledstviy zemletryaseniy* [forecasting methods earthquake]. Moscow, VNIIGO ChS (FTs) Publ., 2000.
27. Nigmatov G.M. Nekotorye voprosy kratkosrochnogo prognozirovaniya seismicheskoy opasnosti i riska [Some issues of short-term forecasting of seismic hazard and risk]. *CATALOGUE of seismoforecasting research carried out in Azerbaijan territory in 2009* [USEFUL seismoforecasting studies carried out in Azerbaijan in 2009]. 2009, pp.147–154.
28. Larionov V.I., Nigmatov G.M., Sushchev S.P., Ugarov A.N., Frolova N.I. Otsenka uyazvimosti i seismicheskogo riska s ispol'zovaniem GIS-tekhnologiy ot vozniknoveniya neustoychivosti gruntovykh osnovaniy zdaniy pri zemletryaseniakh [Vulnerability assessment and seismic risk using GIS technology from the onset of instability of the soil bases of buildings during earthquakes]. *Seysmostoykoe stroitel'stvo* [Earthquake Engineering]. 1999, I. 2.
29. Nigmatov G.M., Chubakov M. Zh. Problemy monitoringa zdaniy i sooruzheniy [Monitoring Issues]. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy* [Building Earthquake Engineering. Security Settings]. 2011, I. 4, pp. 51–55.

## Methods and Tools of Seismic Risk Assessment and Reduction. Overview

**V.A. Akat'ev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Bauman Moscow State Technical University

**E.V. Metelkin**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Russian State Social University

**G.M. Nigmatov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, All-Russian Scientific Research Institute for the Problems of Civil Defense and Emergency Situations

*The article considers approaches to the analysis and management of seismic risk. In chronological order a summary of the seismographs, methods of assessing the risk of seismic events, the scale of earthquakes and seismic zoning area is presented. An expression for the quantitative assessment of seismic risk is presented. It is shown that in the management of seismic risk in Russia the researches in the field of methods for real-time prediction of strong earthquakes and earthquake-proof construction are especially relevant in the near future. The analysis of the factors that best determine the seismic risk is carried out.*

**Keywords:** seismic risk, assessment of seismic hazard, vulnerability, seismic risk analysis methods, means of reducing seismic risk.