

Дж. Гир  
Х. Шах

# ЗЫБКАЯ ТВЕРДЬ



Что  
такое  
землетрясение  
и как  
к нему  
ПОДГОТОВИТЬСЯ

Издательство  
„Мир”

# ЗЫБКАЯ ТВЕРДЬ

# **Terra Non Firma**

Understanding  
and Preparing  
for Earthquakes

James M. Gere  
Haresh C. Shah

W. H. Freeman and Company  
New York

Дж. Гир  
Х. Шах

---

# ЗЫБКАЯ ТВЕРДЬ

Что  
такое  
землетрясение  
и как  
к нему  
ПОДГОТОВИТЬСЯ

---

Перевод с английского  
д-ра физ.-мат. наук, проф.  
Н. В. Шебалина



Москва «Мир» 1988

4969

ББК 26.21  
Г 37  
УДК 551.24

**Гир Дж., Шах Х.**

Г37 Зыбкая твердь: Что такое землетрясение и как к нему подготовиться: Пер. с англ.—М.: Мир, 1988.—220 с., ил.

Популярная книга видных американских специалистов по сейсмостойкому проектированию и строительству посвящена землетрясениям—причинам их возникновения, связанным с ними опасностям, их изучению и возможностям прогноза. Большое внимание уделяется инженерным проблемам предотвращения разрушений, практическим рекомендациям для планирующих и строительных организаций, а также для отдельных лиц по подготовке к возможным землетрясениям в будущем. Написана живым языком и богато иллюстрирована.

Для широкого круга читателей, интересующихся землетрясениями, и специалистов по сейсмостойкому строительству.

Г  $\frac{1903020000-002}{041(01)-88}$  110-88, ч. 1

ББК 26.21

*Редакция литературы по геологии и геофизике*

# Оглавление

Предисловие переводчика . . . . .	9
Предисловие . . . . .	12
1. Первое знакомство с землетрясениями . . . . .	15
Если это случится с вами . . . . .	16
Безопасность зданий . . . . .	17
Другие эффекты землетрясений . . . . .	20
Жертвы землетрясений . . . . .	22
2. Отчего бывают землетрясения? . . . . .	25
Ранние объяснения . . . . .	25
Литосферные плиты и землетрясения . . . . .	27
Строение Земли . . . . .	32
Зоны субдукции . . . . .	33
Разлом Сан-Андреас . . . . .	34
Внутриплитовые землетрясения . . . . .	35
Гавайские острова . . . . .	36
Землетрясение 1976 г. в Гватемале . . . . .	37
Типы движений по разломам . . . . .	38
Причиной землетрясения может быть водохранилище . . . . .	38
Закачка в скважины—тоже . . . . .	42
3. Оползни, разжижение грунта и другие виды опасных последствий землетрясений . . . . .	46
Оползни на горе Уаскаран и в бухте Литуя . . . . .	47
Другие оползни при землетрясениях . . . . .	50
Оползни и разжижение грунта на Тернагейн-Хайтс . . . . .	52
Другие катастрофические случаи разжижения почвы . . . . .	54
Оседание грунта . . . . .	56
Землетрясения и плотины . . . . .	57
Постройки из сырцового кирпича . . . . .	59

4.	Цунами . . . . .	63
	От Аляски до Кресент-Сити . . . . .	64
	Причины цунами . . . . .	65
	Как распространяется цунами . . . . .	72
	Гавань Хило . . . . .	74
	Местные цунами на Гавайях . . . . .	77
	Как уменьшить ущерб от цунами . . . . .	77
	Системы предупреждения о цунами . . . . .	78
5.	Как измерить землетрясения и его эффекты . . . . .	84
	Механизм землетрясения . . . . .	84
	Сейсмические волны . . . . .	87
	Сейсмографы . . . . .	90
	Определение координат очага землетрясения . . . . .	91
	Магнитуда Рихтера . . . . .	91
	Пояснения к магнитуде Рихтера . . . . .	96
	Сейсмическая энергия . . . . .	96
	Акселерографы . . . . .	100
	Интенсивность . . . . .	100
	Как определяется интенсивность . . . . .	104
6.	Предсказание землетрясений . . . . .	110
	Прогноз в Хайчэне, Китай . . . . .	110
	Другие предсказания в Китае . . . . .	112
	Прогноз в США . . . . .	113
	Советские работы по прогнозу . . . . .	114
	Японские работы по прогнозу . . . . .	115
	Неудачный прогноз . . . . .	116
	Представьте, что опубликован официальный прогноз . . . . .	116
	Статистические прогнозы . . . . .	118
	Сейсмические затишья . . . . .	119
	Предвестники землетрясений . . . . .	120
	Теория дилатансии . . . . .	124
	Спусковой механизм . . . . .	124
	Суеверия . . . . .	126
	Поведение животных . . . . .	126
	Будет ли прогноз решением? . . . . .	128
7.	Сейсмостойкое проектирование и строительство . . . . .	131
	Сейсмическая опасность . . . . .	132
	Уменьшение потерь . . . . .	134
	Эффект хороших конструкций . . . . .	134
	Инженерная сейсмология и сейсмостойкое строительство . . . . .	136
	Проектирование зданий . . . . .	138
	Строительные нормы и правила . . . . .	144
	Укрепление существующих зданий . . . . .	146
	Системы жизнеобеспечения . . . . .	149

Аварийно-спасательные службы . . . . .	152
Ответственные сооружения . . . . .	152
Безопасность плотин . . . . .	153
8. Общественное и индивидуальное планирование . . . . .	159
Будет ли еще одно сильное землетрясение? . . . . .	159
Что станет с моим домом и с нашим районом? . . . . .	161
Как мне позаботиться о моем доме? . . . . .	163
Сейсмическое районирование и микрорайонирование . . . . .	163
Помощь при катастрофах . . . . .	165
Страхование на случай землетрясения . . . . .	167
9. Подготовка к следующему землетрясению . . . . .	177
Содержимое зданий . . . . .	178
Обучение населения . . . . .	181
Учебные сейсмические тревоги . . . . .	181
Психологическая реакция на землетрясение . . . . .	182
Индивидуальная готовность к землетрясению . . . . .	186
Что делать до следующего землетрясения . . . . .	187
Что делать во время землетрясения . . . . .	189
Что делать после землетрясения . . . . .	191
Некоторые данные о землетрясениях . . . . .	193
Дополнительная литература . . . . .	211
Об авторах . . . . .	215
Предметный указатель . . . . .	218
Указатель землетрясений . . . . .	220



В Коалинге (Калифорния) во время землетрясения 2 мая 1983 г. (магнитуда 6,5) обрушилось или сильно пострадало несколько старых зданий. В будущем еще не раз такая же участь постигнет многие другие города. Фото авторов.

## Предисловие переводчика

Предлагаемая читателю книга не совсем обычна. С одной стороны, это «классическая» популяризация с последовательным изложением сведений о причинах землетрясений, способах их изучения, их разрушительных последствиях, предсказании и мерах защиты. С другой стороны, это книга умных практиков, адресованная любому, кто имеет хоть малейшее отношение к вопросам планирования и строительства в сейсмоопасной зоне, будь то решение крупных региональных экономических проблем или просто планировка и строительство индивидуального дома. Последовательно, страница за страницей авторы добиваются, чтобы читатель глубоко проникся идеей о том, что лучше, практичнее, дешевле, наконец, безопаснее заранее готовиться к неизбежному в будущем землетрясению, чем напрягать свои силы в исправлении разрушительных последствий своего и чужого небрежения. Авторы не просто декларируют это. Они учат, как надо вести подготовку, продумывая вопросы размещения сооружений, нужным образом проектируя новые и укрепляя существующие здания, планируя свое будущее поведение, обучая и ориентируя своих близких. Поэтому книга Дж. Гира и Х. Шаха может служить не только познавательным целям — это и хорошая рабочая инструкция для жителей сейсмоопасных районов Советского Союза. И нет беды в том, что в оригинале книга написана для беспечных жителей далекой Калифорнии и Невады с их собственным жизненным укладом и уровнем жизни; заинтересованный читатель — партийный или советский работник, администратор, строитель, педагог — сам поймет и отберет для неукоснительного применения нужные приемы и правила. Важно понять: не случайно и не напрасно сотни советских сейсмологов, геофизиков и геологов год за годом ведут кропотливую работу по общему сейсмическому районированию всей территории СССР, по детальному районированию зон крупных южных и восточных городов и ответственных сооружений — АЭС, гидроузлов, химических заводов, по подробнейшему микрорайонированию многих городских и производственных территорий. В результате этой работы мы сегодня довольно хорошо представляем себе сейсмическую опас-

ность отдельных районов нашей страны. Но слишком часто благодушные и беспечность сводят на нет результаты этой работы. Многим кажется, что разрушительное землетрясение произойдет совсем не скоро и готовиться к нему еще слишком рано. Такое явное или подспудное мнение часто определяет и невнимание к перспективному планированию, и оправдание низкого качества работ, и многое другое. Землетрясения между тем происходят, рушатся здания, гибнут люди, а непредусмотрительные строители пытаются свалить вину на сейсмологов.

Книга «Зыбкая твердь» учит нас, что в сейсмоопасной зоне разрушительное землетрясение непременно произойдет, хотим мы того или нет, и учит, что сделать, чтобы свести к минимуму будущие беды. Сжато рассказав об основах сейсмологии в гл. 2 и 5 (подробнее об этом говорится в книге Б. Болта «Землетрясения: Общедоступный очерк»—М.: Мир, 1981), авторы, по существу, обходят вопрос о том, как возникают и воздействуют на поверхность Земли опасные короткопериодные колебания земных слоев. Зато гл. 3, посвященная спровоцированным землетрясениями оползням, разжижению грунта, просадкам и другим подобным эффектам, для советского читателя нова и интересна—литературы, особенно популярной, по этим вопросам у нас почти нет. Гл. 4, посвященная цунами, не содержит общепринятых представлений о природе этого грозного спутника океанических землетрясений, хотя практические аспекты этой главы весьма интересны и полезны. Гл. 6 посвящена прогнозу землетрясений. Нельзя не приветствовать умный и трезвый вывод авторов о том, что решение проблемы предсказания землетрясений не есть решение проблемы сейсмической безопасности в целом: эвакуация города со стотысячным населением перед надвигающимся землетрясением, остановка производства в нем нереалистичны, да и никому не захочется после землетрясения возвращаться на развалины родного города.

Нужные и правильные пути предупреждения разрушительных последствий землетрясений описаны в трех последних и самых важных главах книги, посвященных проектированию сейсмостойких сооружений, планированию строительства и мерам индивидуальной и коллективной подготовки к землетрясениям, включая учебные тревоги, подготовку своего жилья и, главное, психологическую подготовку себя самого и своих близких. Не стоит пересказывать содержание этих глав—каждому жителю сейсмоактивных районов СССР стоит прочесть книгу от корки до корки.

Как ни страшны бывают последствия землетрясений, как ни трудно убедить людей в необходимости заранее готовиться к ним, эта книга меньше всего рассчитана на то, чтобы внушить страх, посеять сомнения в своих силах. Если действовать умно, правильно проектировать, хорошо строить, бережно относиться к материалам и чисто варить стыки, если добиваться ремонта, реконструкции и укрепления, а при необходимости и сноса непрочных старых зданий, если репетировать приход землетрясения в школах, в учреждениях, дома, тогда землетрясения будут

опасны не более, чем хороший ливень, и тогда есть смысл заниматься их предсказанием и оповещением без опасений перед возможной паникой, с одним желанием еще лучше ощутить и понять прихотливый нрав нашей беспокойной планеты.

*Н. В. Шебалин*

## Предисловие

Угроза землетрясения в США становится все более серьезной с каждым новым днем, прошедшим без сильного землетрясения. Сообщения о землетрясениях в прессе, по радио и телевидению, специальные статьи и тематические телепередачи в высшей мере возбуждают внимание общественности. Природа также регулярно напоминает об этой опасности, заставляя нас врасплох в таких, например, районах, как Чаллис (Айдахо, октябрь 1983 г.) или Коалинга (Калифорния, май 1983 г.).

Это возрастающее ощущение угрозы усиливает тягу людей к новым сведениям и заставляет их задумываться над тем, что они должны делать. Почти ежедневно у нас раздаются телефонные звонки домовладельцев, представителей деловых кругов, работников образования, которые хотят знать, что им нужно делать для того, чтобы свести к минимуму число пострадавших и снизить ущерб при следующем землетрясении. Цель этой книги — ответить на вопросы, волнующие многих.

Чтобы объяснить, что такое землетрясения, мы начнем с анализа их причин и проявлений (гл. 1–6). Затем рассмотрим способы подготовки к землетрясению на разных уровнях — инженерном, административном и персональном (гл. 7–9). Этого достаточно, чтобы вы могли принять разумные решения в отношении вашей личной безопасности и безопасности ваших близких, а также в отношении снижения материального ущерба.

Как профессорам инженерных дисциплин Станфордского университета нам часто приходится писать разные пособия для студентов, исследователей и стажирующихся инженеров. Однако в этой книге мы попытались рассказать о том, что нужно знать о землетрясениях каждому, даже если он не специалист в этой области. Книга основана на нашем многолетнем опыте решения проблем, связанных с землетрясениями, как в США, так и за рубежом. Одни землетрясения мы изучали, читая отчеты и беседуя с людьми, другие — путем непосредственного исследования на местах; среди них — землетрясения в Коалинге (Калифорния, 1983 г.), Эль-Аснаме (Алжир, 1980 г.), Таншане (Китай, 1976 г.), Гватема-

ле (1976 г.), Манагуа (Никарагуа, 1972 г.) и Сан-Фернандо (Калифорния, 1971 г.).

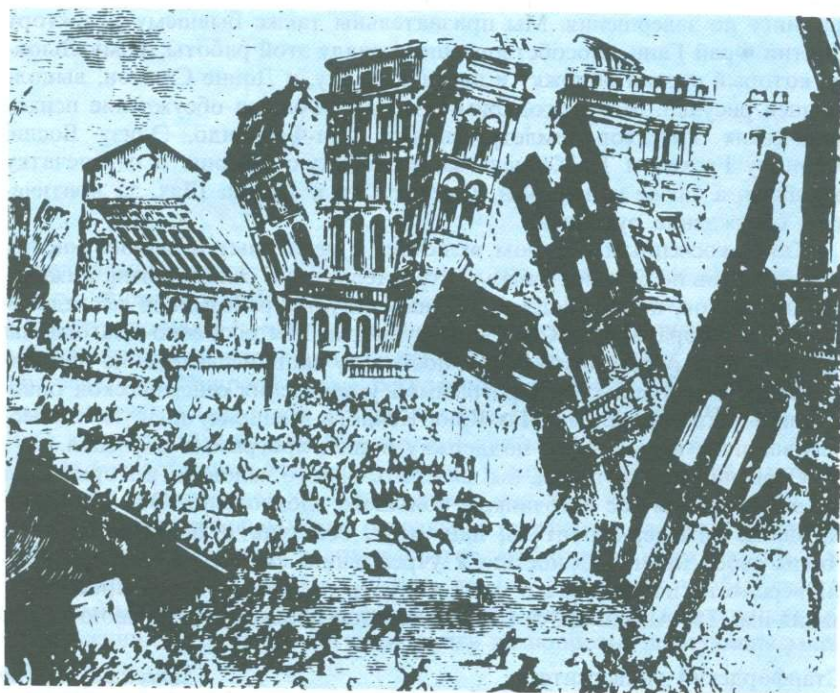
Мы хотели бы выразить особую признательность тем, кто содействовал подготовке этой книги, в особенности редактору серии «Карманный Станфорд» Мириам Миллер и сотруднице издательства Лауре Аккерман-Шоу, которые терпеливо работали с нашей рукописью, доводя книгу до завершения. Мы признательны также бывшему редактору Синтии Фрай Ганн, способствовавшей началу этой работы, Тому Льюису, который сделал обложку и цветную карту, и Донне Салмон, выполнившей рисунки. Мы благодарим Изабеллу Фокс за обсуждение психологических эффектов землетрясения в Сан-Фернандо, Элизу Босли, Камиллу Грэхем и Ти Кеннеди за техническую помощь и перепечатку рукописи, а также наших жен, Дженис Гир и Джоан Шах, за критическое обсуждение рукописи.

Книга косвенным образом включает в себя опыт и знания многих специалистов по сейсмостойкому строительству и сейсмологии, инженеров-практиков, наших коллег по университету, работников исследовательских лабораторий в США и за рубежом. Мы особенно благодарны Национальному научному фонду, поскольку наши исследования поддерживались в основном его Программой уменьшения сейсмической опасности, а также Дональду Мак-Кею, Кеннету Медирису и другим, обеспечивающим финансовую поддержку нашей программе обучения.

Особенно нам хотелось бы выделить одного человека, который был все эти годы для нас источником большого вдохновения. Это д-р Джон А. Блюм, инженер-строитель, наш друг, советчик и благодетель. Мы горды своей принадлежностью к учреждению системы Станфордского университета, носящему его имя, — к Центру сейсмостойкого проектирования им. Дж. А. Блюма, — и мы с почтением посвящаем ему свою книгу.

Станфордский университет,  
апрель 1984 г.

*Джеймс М. Гир  
Хареш Ч. Шах*



Катастрофическое Лиссабонское землетрясение 1755 г. поразило народ, собравшийся в городских церквах в День всех святых. [С разрешения Геологической службы США.]

## Первое знакомство с сотрясениями

*...Они почувствовали, что земля дрожит у них под ногами. Море мгновенно вспенивается, врывается в порт и разбивает все корабли, стоящие на якоре. Вихри огня и непа бушуют на улицах и площадях, дома рушатся; крыши падают наземь; стены дробятся. Тридцать тысяч жителей... погибает под развалинами...*

– Страшный суд настал! – вскричал Кандид.

Вольтер. «Кандид» (о Лиссабонском землетрясении 1755 г.)

С любым из нас может случиться, что Природа страшным и унижающим образом напомнит ему о своем могуществе. Землетрясения, торнадо, ураганы и наводнения кажутся вмешательством высших сил, и сегодня мы оказываемся столь же бессильны противостоять им, как и наши далекие предки в «донаучные» времена. Мы, конечно, не будем думать, как решил Кандид, что настало время Страшного суда, однако могут быть моменты, когда мы почувствуем, что конец наш близок.

Вероятность того, что вам когда-нибудь придется испытать на себе землетрясение, и в самом деле довольно велика. С большинством людей это случается несколько раз в течение их жизни, и для многих встреча с землетрясением оказывается достаточно серьезной. В среднем по Земле 1 человек из каждых 8000 погибает при землетрясении, и вдесятеро больше за свою жизнь так или иначе страдают от землетрясения.

На *цветной карте* (в гл. 2) показаны основные сейсмичные зоны Земли. Если вы живете в одной из этих зон, то, вероятно, уже знаете по собственному опыту, что такое землетрясение. В США это может подтвердить большинство жителей Калифорнии. Типичный житель Лос-Анджелеса ощущает сотрясения несколько раз в своей жизни, и по меньшей мере одно из землетрясений бывает разрушительным. Напротив, в некоторых штатах (например, в Техасе или Флориде) есть места, где землетрясения практически неизвестны.

Около 70 млн. человек в США живут в районах, где опасность землетрясений оценивается как «серьезная», — это значит, что там разрушительные землетрясения происходят по крайней мере один раз в течение человеческой жизни. Еще 120 миллионов живут в районах, где опасность считается «умеренной», а остальные могут спокойно игнорировать опасность землетрясения (пока не захотят путешествовать).

## Если это случится с вами

Пока вам не пришлось самому испытать сотрясение земли, попытайтесь все же вообразить: что это такое — землетрясение? Представьте, что в момент, когда оно произошло, вы сидите у себя за столом. Оно возникает совершенно неожиданно. Первый толчок заставляет вас встрепетнуться и спросить: «Что это?» Пока вы пытаетесь осознать происходящее, в вашей голове проносятся разные мысли: «Грузовик что ли прошел? Что-нибудь упало?» Если толчки продолжают, до вас доходит, что это не просто какой-то удар, а настоящее землетрясение, и сразу же возникают пугающие мысли: «Долго ли это будет продолжаться? Почему оно не перестает? Не развалится ли дом? Что мне делать?»

Эти мысли проносятся в вашем сознании за считанные секунды. Если сотрясения вскоре прекратятся, вы почувствуете огромное облегчение. Но если они продолжают, ваше сердце начинает колотиться и вы инстинктивно делаете *что-нибудь*, даже если это действие будет вам во вред. Кто кричит, кто бежит к выходу, кто замирает в ужасе... К тому же мы привыкали к мысли, что пол под нами надежен, как земная твердь, и в самом деле страшно ощутить, что надежности в нем больше нет. Но если вы заранее внутренне готовы к такой опасности, вы быстро спрячетесь в безопасное место, лучше всего под стол, и спокойно призовете других сделать то же самое.

После нескольких секунд тряски начинаются разрушения. Лопаются и вылетают оконные стекла, с полок падают разные предметы, шатаются книжные шкафы, с потолка осыпается побелка, а в стенах, перекрытиях и потолках появляются трещины. Шум становился оглушительным. Всего десяток секунд сильных сотрясений разрушает все здание, а иногда даже сравнивает его с землей. Чем дольше длятся сотрясения, тем тяжелее повреждения.

Когда все наконец позади, вы с изумлением осознаете, насколько в действительности скоротечным было землетрясение. При последующих опросах люди оценивали продолжительность сильных сотрясений в 30–40 с, хотя на самом деле они длились 5–10 с. Из-за очень высокой чувствительности человеческого тела к движениям почвы мы сильно переоцениваем и размах колебаний. Посмотрите, например, как отчетливо мы ощущаем движение грунта, вызванное проходящим неподалеку грузовиком, а ведь истинное смещение грунта при этом может быть меньше миллиметра. На вопрос, как сильно раскачивалось здание, люди могут ответить: «Его мотало взад-вперед почти на метр», хотя на самом деле размах колебаний был всего 2–3 см. Исключительный пример того, насколько обманчивы бывают человеческие ощущения, привел нам один инженер из Турции. Изучая последствия землетрясения, потрясшего Стамбул, он беседовал с муэдзином, который в момент землетрясения призывал верующих к молитве с вершины минарета. Муэдзин утверждал, что минарет гнулся взад и вперед настолько, что он мог достать рукой землю.

## Безопасность зданий

Что может случиться с вами во время землетрясения, зависит от того, насколько далеко вы находитесь от очага землетрясения, от продолжительности сотрясений, от качества конструкций здания, в котором вы находитесь, от свойств фундамента и почвы под этим зданием и от многого другого. В тех странах, где, подобно США, большинство людей живет в деревянных щитовых домах или современных многоэтажных зданиях, для вас будет безопаснее, если землетрясение застанет вас ночью, когда вы дома. Меньше вреда вам будет потому, что дома обоих этих типов ведут себя довольно хорошо. Кроме того, в этих зданиях обычно нет тяжелых механизмов, оборудования или обстановки, готовых обрушиться на вас, — конечно, если только вы не умудритесь по-ставить над своей кроватью тяжелую добротную электронную аппаратуру.

В других странах, где преобладают глинобитные или кирпичные постройки без железобетонного усиления, ситуация обратна, и ночное землетрясение обычно вызывает множество человеческих жертв: толстые стены и тяжелая глиняная или черепичная кровля обрушиваются прямо на обитателей дома. В 1976 г. в Гватемале сильное землетрясение с магнитудой 7,5\*) случилось в три часа ночи, погубив 23 тыс. человек и оставив без крова 1 млн. человек. Большинство жертв пришлось на сель-



Крыши и перекрытия этого здания превратились в слоеный пирог во время землетрясения 1972 г. в Манагуа (Никарагуа). Фото авторов.

\*) О магнитуде см. с. 91.—Прим. ред.

скую местность, где дома были разрушены до основания. В 1972 г. в Никарагуа другое ночное землетрясение – с магнитудой 6,2 – явилось причиной гибели более чем 5000 человек. Подобные катастрофы происходят на Земле каждые несколько лет. Самым страшным было землетрясение 1976 г. в Таншане (Китай,  $M = 7,8$ ), которое произошло в 3 ч 42 мин утра; оно принесло смерть почти четверти миллиона людей (см. с. 154). В отличие от этого ни один человек не погиб в своем доме во время землетрясения 1971 г. с магнитудой 6,6, которое произошло около 6 ч 00 мин утра в Сан-Фернандо (Калифорния). Благодаря своей конструкции здания устояли под сильными ударами, и, хотя многие дома были серьезно повреждены, жители остались невредимы.

Днем в рабочее время многие находятся в своих учреждениях, на заводах, в магазинах, а также на улицах, ходят пешком или ездят на автомобилях. Их индивидуальные ощущения и шансы пережить землетрясение зависят как от стечения многих обстоятельств к моменту землетрясения, так и от их реакции на эти обстоятельства. Если вы находитесь в современном многоэтажном здании, хорошо спроектированном опытными инженерами-конструкторами и построенном на стальном или железобетонном каркасе, то вы находитесь в относительной безопасности, даже если здание испытает заметные вибрации и получит легкие повреждения. Некоторые здания проектируются гибкими и могут колебаться взад-вперед во время землетрясения – при этом конструктивная целостность здания не подвергается опасности. Но люди могут не знать об этом важном обстоятельстве и, испугавшись, пуститься в панике бежать к лифтам и выходам. Электропитание может отключиться и лифты с пассажирами застрянут между этажами. Разные предметы, осколки стекол и декоративные панели, которые падают главным образом на тротуары, часто ранят людей, выбегающих из домов. Поэтому гораздо лучше оставаться в здании, спасаясь от падающих предметов и опрокидывающейся мебели под ближайшим столом. Помните, что хорошо построенные здания при сильнейших землетрясениях могут раскачиваться долго, порой до минуты, так что настройте себя на спокойствие и помогите другим сделать то же самое. Паника – серьезная опасность во время любого бедствия, но часто несколько волевых людей могут погасить ее.

К сожалению, далеко не все наши дома построены хорошо. В наших городах много старых зданий, которые не переживут ударов сильного землетрясения. Они были спроектированы до того, как в строительные нормы были включены требования сейсмостойкости. В таких старых зданиях, используемых под учреждения, магазины или жилье, обычно бывает от одного до пяти этажей. Если сотрясения длятся достаточно долго, худшие из них обрушиваются, как это было в Сан-Фернандо в 1971 г. и в Коалинге в 1983 г. Эти землетрясения вызывали сильные колебания продолжительностью соответственно 10 и 6 с, но их было достаточно, чтобы вызвать обрушение многих старых зданий. Продлись колебания еще несколько секунд, их обрушилось бы еще больше: размеры повреждений сильно зависят от продолжительности колебаний.



12-этажное жилое здание в Каракасе (Венесуэла) рухнуло при землетрясении 1967 г. (магнитуда 6,5). [С разрешения Калифорнийского управления шахт и геологии.]

Каждый добавочный цикл движений туда и обратно приводит к новым разрушениям в стенах, перекрытиях, балках и колоннах. По мере того как растрескивание и разламывание прогрессируют, прочность здания все уменьшается, и при достаточно долгих сотрясениях оно может обрушиться.

Наиболее опасны те из старых зданий, которые построены из кирпича или бетонных блоков без усиливающих стальных конструкций и к тому же на слабом растворе. Будучи плохо скреплены между собой, кирпичи или блоки при землетрясении легко вываливаются. Иногда рушатся целые стены, кровля отрывается от стен и проваливается, а парапеты падают на улицы. Очевидно, что в сейсмоопасных районах страны совершенно необходимы ремонт и перестройка старых зданий такого типа.

Здания, детали которых надежно скреплены между собой, могут устоять при землетрясениях независимо от материала, использованного при постройке. Именно поэтому так надежны щитовые дома: их стены, перекрытия и перегородки крепко стянуты гвоздями и скобами. Они не отойдут даже при сильном воздействии. То же самое относится и к зда-

ниям со стальным каркасом: детали в них надежно скреплены болтами или сваркой и конструкции не могут разойтись из-за колебаний. Железобетонные здания ведут себя так же, если стальная арматура подобрана соответствующим образом, особенно в колоннах и в стыках колонн и балок. Успешное выполнение железобетонных конструкций не столько зависит от размеров звеньев конструкции, сколько от «деталей» (как называют их инженеры) и того, как в них размещена арматура. При должном проектировании и строительстве железобетонное здание будет сейсмостойким, и находящиеся в нем люди могут не опасаться его обрушения. Даже кирпичные и блочные дома можно укрепить железобетоном, чтобы они протivotояли воздействию землетрясения.

Владельцы домов и планировщики должны принимать во внимание эти факты и быть готовы платить за должное качество инженерных расчетов и строительства, чтобы обеспечить безопасность строений. Цена должной сейсмической устойчивости очень низка – всего несколько процентов от стоимости здания, если меры сейсмостойкости принимаются заранее, и, напротив, она очень высока, если здание приходится перестраивать позднее. Фактически перестройка существующего здания может стоить почти столько же, сколько возведение нового.

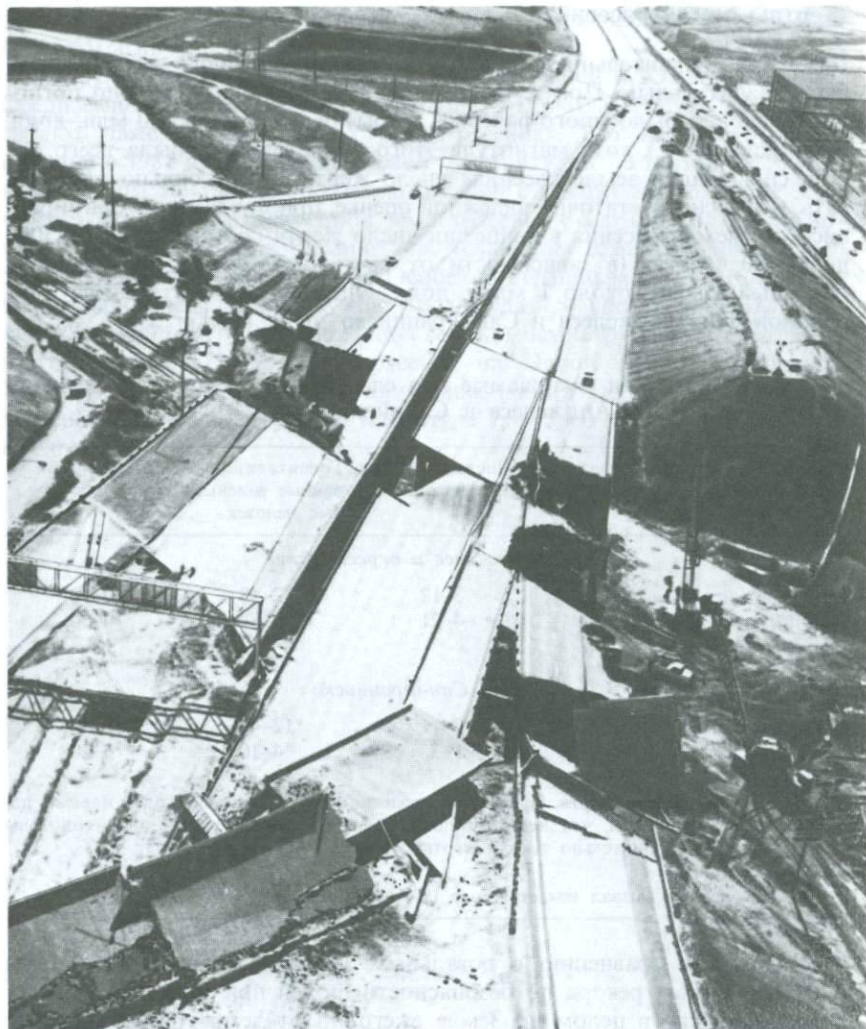
Если вы живете или работаете в ненадежном здании, ваши шансы пострадать или погибнуть во время землетрясения, очевидно, гораздо выше, чем им следует быть. Поэтому вам особенно важно принять ряд энергичных мер для самозащиты, когда землетрясение произойдет. Если вы не можете укрыться под прочным столом, встаньте, прикрыв голову, в дверном проеме или в углу комнаты.

Вы можете внести весомый вклад в общее дело, если поддержите администрацию, архитекторов и строителей в их попытках решать на местах вопросы усиления и перестройки непрочных зданий. К сожалению, многие владельцы зданий не хотят, чтобы их собственность стала более безопасной, и необходимо, чтобы общество принуждало их к этому.

## Другие эффекты землетрясений

Возможно, в момент землетрясения вы будете вести автомобиль. Пока колебания почвы легки, вы их можете и не заметить, так как отнесете их на счет обычной тряски машины. Но при сильных движениях почвы машину начнет ощутимо мотать, и вашей естественной реакцией будет сбавить ход и остановиться. (Людям, находившимся во время землетрясения в автомашинах, казалось, что спустились все четыре шины.) Старайтесь остановить машину подальше от высоких зданий и других сооружений: с них могут падать обломки. Если вы едете в поезде, то вам остается надеяться, что поезд затормозит и остановится прежде, чем налетит на искривившиеся рельсы.

Чаще всего боятся – и это подкрепляется кинофильмами, – что при землетрясении почва разверзнется и поглотит вас. На самом деле открытые трещины редко появляются на поверхности земли. Самое безопасное при землетрясении – быть в открытом поле, вдали от зданий.



Участки автострады Голден-Стейт (транзитное шоссе № 5), обрушившиеся во время землетрясения 1971 г. в Сан-Фернандо. Два человека были убиты, когда они проходили в тоннеле под шоссе. Фото Р. Уоллеса. [С разрешения Геологической службы США.]

При землетрясениях можно ожидать повреждения дорог, трубопроводов, линий электропередачи, электроподстанций. Снабжение водой и электроэнергией, телефонная связь и канализация могут быть нарушены, передвижение будет затруднено. Вам также нужно быть готовым к тому, что больницы, пожарные, полиция будут перегружены работой.

## Жертвы землетрясений

Даже при сравнительно несильном землетрясении число жертв может быть значительным. При землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо погибло 58 человек, было много раненых, а убытки превысили 500 млн. долл. (по курсу 1971 г.), хотя магнитуда этого землетрясения была всего 6,6. При сильнейших землетрясениях число жертв может сильно варьировать. Согласно достаточно надежной оценке, при повторении Сан-Францисского землетрясения в наши дни число жертв составило бы от 3000 до 11 000 человек (в зависимости от времени года и суток), а материальный ущерб — около 1 млрд. долл. Оценка таких потерь для двух районов — Лос-Анджелеса и Сан-Франциско — дана в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Потери, ожидаемые при следующем крупном землетрясении в районах Лос-Анджелеса и Сан-Франциско

Разлом, порождающий землетрясение	Магнитуда землетрясения	Число погибших, тыс. человек	Госпитализированные раненые, тыс. человек	Материальный ущерб, млрд. долл.
<i>Лос-Анджелес и окрестности</i>				
Сан-Андреас	8,3	3–12	12–48	20–50
Ньюпорт – Инглювд*)	7,5	4–21	16–84	30–60
<i>Район Сан-Франциско</i>				
Сан-Андреас	8,3	3–11	12–40	20–40
Хейвард	7,5	1–3	4–10	5–20

*Примечание.* Число жертв зависит от времени суток и времени года. Данные получены в предположении, что не будут повреждены плотины; прорыв одной плотины может вызвать дополнительно тысячи жертв.

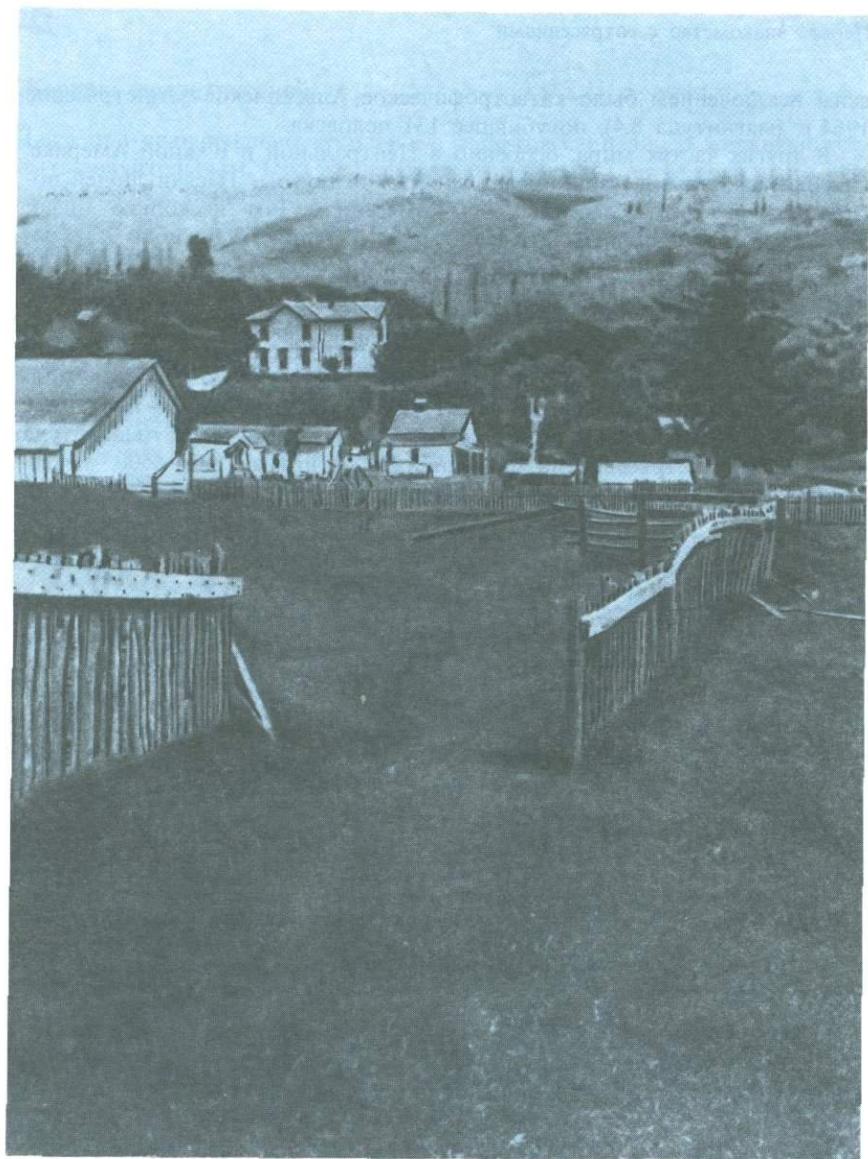
\*) Этот разлом вызвал землетрясение 1933 г. в Лонг-Биче.

Однако по сравнению с остальным миром Соединенные Штаты Америки держат рекорд по безопасности людей при землетрясениях\*). В то время как в целом по Земле ежегодно от землетрясений гибнет в среднем около 10 000 человек, в США за 80 с лишним лет начиная с 1900 г. по этой причине погибло всего около 1500 человек. За этот период во внутренних частях США (без Аляски и Гавайских островов.— *Перев.*) произошло более 40 землетрясений с магнитудой 6,0 и выше. По меньшей мере столько же произошло на Аляске, где восемь землетрясений имели магнитуды более 8,0. Большинство землетрясений на Аляске случалось в удаленных местах и не вызывало больших жертв, причинив лишь небольшие повреждения искусственным сооружениям. Трагиче-

\*) Без учета данных по СССР.—Прим. ред.

ским исключением было катастрофическое Аляскинское землетрясение 1964 г. (магнитуда 8,4), погубившее 131 человека.

В других частях мира, особенно в Центральной и Южной Америке, Средиземноморье и Азии, цифры говорят о другом. Тысячи людей погибают даже при умеренных землетрясениях. Вот несколько цифр: в Иране в 1981 г. при землетрясении с магнитудой 7,3 погибло 2500 человек, в том же 1981 г. при землетрясении с магнитудой 6,9—еще 3000 человек. В Италии в 1980 г. при землетрясении с магнитудой 7,0 погибло 3100 человек, в Алжире при Эль-Аснамском землетрясении 1980 г. с магнитудой 7,3—5000 человек. Особенно страшным был 1976 г.: Таншаньское землетрясение в Китае (магнитуда 7,8) унесло четверть миллиона жизней (почти 25% населения города), землетрясение в Гватемале (магнитуда 7,5)—23 000, землетрясение на Новой Гвинее (магнитуда 7,1)—6000, землетрясение на Филиппинах (магнитуда 8,0)—6500, землетрясение в восточной Турции (магнитуда 7,3)—5000 (см. табл. А.2 в конце книги).



Этот забор в округе Мэрин был смещен на 2,6 м во время Сан-Францисского землетрясения 1906 г. В том месте, где забор разорван, слева направо через поле проходит разлом Сан-Андреас. Во время землетрясения земля по ту сторону разлома сдвинулась вправо, неся на себе забор. Фото Дж. Гилберта. [С разрешения Геологической службы США.]

## Отчего бывают землетрясения?

*Сдвинул каменный бык на другое плечо свою ношу.*

Древнее китайское поверье

Конечно же, всякий спросит – «отчего это?», когда у него впервые задрожит земля под ногами. Люди всегда боялись землетрясений, и каждая цивилизация создавала для них свое сверхъестественное объяснение. Согласно древней японской легенде, Японские острова держатся на спине огромного сома, движения которого заставляют Землю дрогаться. Индейцы-алгонкины в Северной Америке говорят, что Землю несет на себе гигантская черепаха, и Земля вздрагивает каждый раз, когда черепаха переваливается с ноги на ногу. В некоторых странах Азии вину сваливают на лягушку, в Индии – на гигантского крота, в Китае – на подпирающего Землю быка.

### Ранние объяснения

В поисках причин землетрясений Аристотель обратился к недрам Земли. Он полагал, что атмосферные вихри внедряются в землю, в которой много пустот и сквозных щелей. Вихри, думал он, усиливаются огнем и ищут себе выхода, вызывая таким образом землетрясения, а иногда извержения вулканов. Эти представления просуществовали много веков, даже несмотря на то, что он не привел никаких аргументов в пользу своих гипотез, а просто дал волю своей буйной фантазии. Аристотель также «несет ответственность» за бытующее и поныне представление об особой «сейсмоопасной погоде». Он говорил, что, когда воздух затягивается в землю перед землетрясением, оставшийся над землей воздух становится спокойнее и разреженней, затрудняя дыхание. Четырьмя веками позже Плиний писал: «Сотрясения земли случаются, лишь когда море спокойно и небо столь недвижно, что птицы не могут парить, потому что нет поддерживающего их дыхания». Поскольку такие условия часто бывают при жаркой влажной погоде, такую погоду стали называть «сейсмоопасной погодой», предполагая, что она сигнализирует о приближении землетрясения.

Землетрясение часто рассматривали как наказание, ниспосланное рассерженными богами. В греческой мифологии землетрясения вызы-



Рисунок эпохи Эдо: народ пытается укротить сома, движения которого, согласно легенде, вызывают землетрясения. [С разрешения К. Исиды.]

вает разъяренный Посейдон, владыка морей. Нептун, его аналог в римских мифах, мог не только вселять страх в людей, вызывая землетрясение, но и насылать на землю потопы, а на берега — огромные волны. В Европе XVIII в. духовенство пыталось привить людям моралистический взгляд на землетрясения. Вот что можно прочесть в одной лондонской газете за 1752 г.: «Землетрясения обычно случаются в больших городах. Карающий бич направлен туда, где есть жители, т. е. цель для предостережения, а не на голые утесы и необитаемые берега». Знаменитое Лиссабонское землетрясение 1755 г. произошло в День Всех Святых, в момент, когда люди были в церкви. Огромное число жертв было вызвано серией из нескольких толчков и гигантским цунами, обрушившимся на набережную. Положение усугубили пожары, разбушевавшиеся по всему городу. Те, кто верил в божью кару за грехи, видели в этом возмездие. Одна португальская монахиня сообщила, что ей было видение Иисуса Христа, предостерегавшего, что город будет наказан за безрассудность. Священник в Англии выговаривал населению Лиссабона за его «распушенность и дебоширство», в то время как другие поносили проклятую инквизицию и указывали, что Дворец инквизиции был одним из первых зданий, подвергшихся разрушению.

## Литосферные плиты и землетрясения

Сегодня у нас есть преимущество многолетних геологических исследований, в результате которых удалось получить исключительно ясную картину строения Земли и причин землетрясений. Эти причины сразу же станут понятны, как только мы представим себе динамичный характер Земли и те медленные движения, которые происходят в ее коре (точнее, литосфере.—*Перев.*) Этот слой довольно тонок и покрывает Землю на толщину около 70 км под океанами и около 150 км на континентах. Его небольшую толщину хорошо иллюстрирует такой пример: если Землю уменьшить до размеров яйца, то твердая кора окажется толщиной со скорлупу. Этот твердый слой, однако, не цельный: он разбит на несколько больших кусков, называемых *плитами*. На приведенной ниже карте (рис. 2.1) видны эти плиты, размеры которых варьируют от сотен до нескольких тысяч километров.

Под литосферой действуют силы, принуждающие плиты перемещаться со скоростью, как правило, нескольких сантиметров в год. Причина этих глубинных сил не вполне ясна. Они могут быть вызваны, например, медленными течениями горячего пластичного вещества в недрах. Течения возникают в результате тепловой конвекции в сочетании с динамическими эффектами вращения Земли. В некоторых областях новое вещество поднимается наверх из земных недр, отесняя плиты в стороны (это происходит, например, в Срединно-Атлантическом хребте); в других местах плиты проскальзывают краями одна вдоль другой (как вдоль разлома Сан-Андреас в Калифорнии); наконец, есть области, называемые *зонами субдукции* (поддвига), где одна плита при встрече заталкивается под другую (например, в океане у западных берегов Южной и Центральной Америки, у побережий Аляски и Японии). Несогласованность в движении плит при любом его направлении заставляет каменную толщу растрескиваться, создавая таким образом землетрясения.

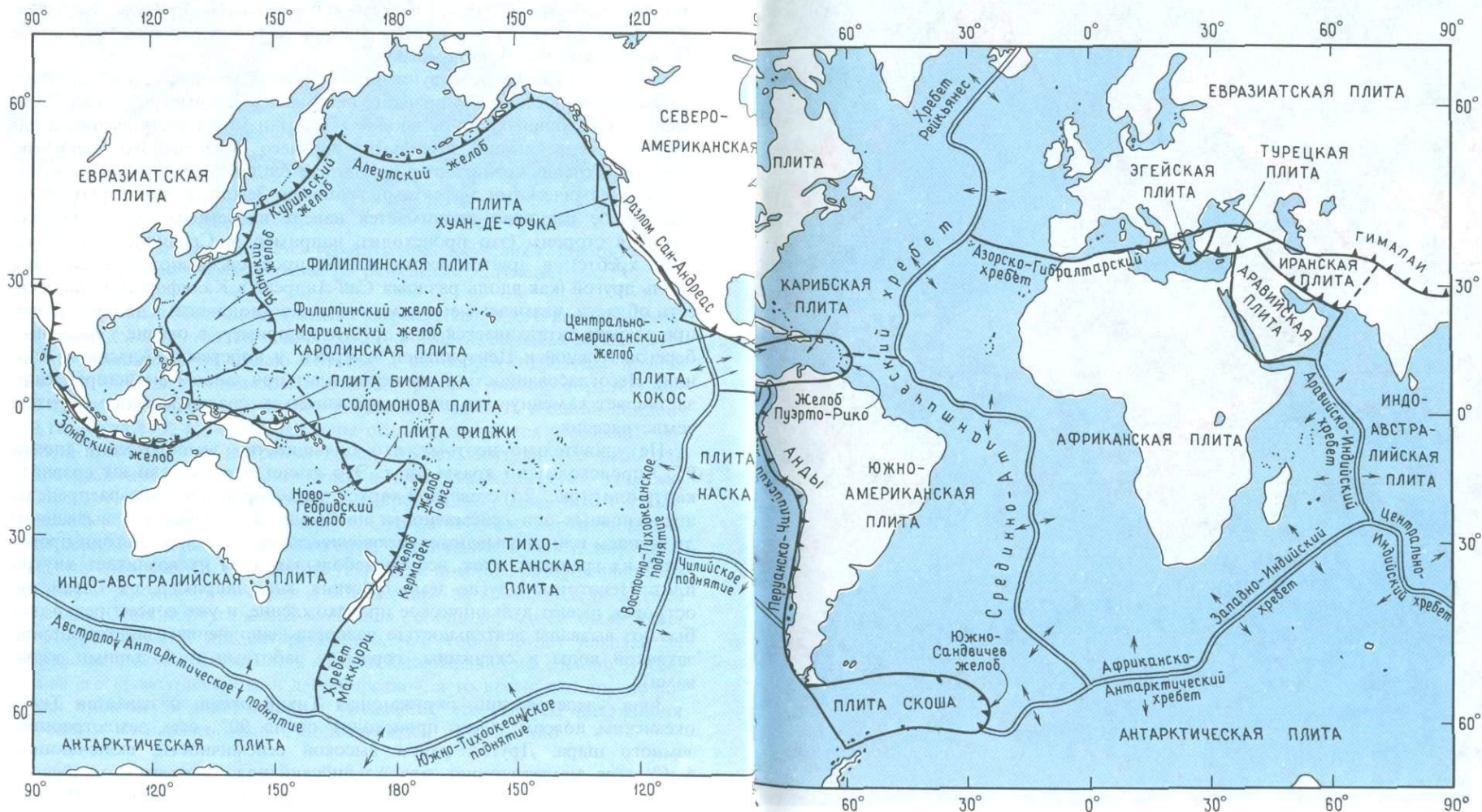
Не удивительно поэтому, что большинство землетрясений (почти 95%) происходит по краям плит. Это станет ясным, если вы сравните карту плит (рис. 2.1) с цветной картой, на которой показано распределение основных зон сейсмичности на Земле. Землетрясения, вызванные движением плит, называются *тектоническими*. Хотя обычно они происходят на границах плит, все же небольшая доля их возникает внутри плит. Некоторые другие землетрясения, как, например, на Гавайских островах, имеют вулканическое происхождение, и уже совсем редко они вызываются деятельностью человека (заполнением водохранилищ, закачкой воды в скважины, горными работами и большими взрывами).

Зона землетрясений, окружающая Тихий океан, называется Тихоокеанским поясом: здесь происходит около 90% всех землетрясений земного шара. Другой район высокой сейсмичности, включающий 5–6% всех землетрясений,—это Альпийский пояс, протягивающийся от Средиземноморья на восток через Турцию, Иран и северную Индию.

Остальные 4–5% землетрясений происходят вдоль срединно-океанических хребтов или внутри плит.

Наши представления о причинах землетрясений необычайно расширились в этом столетии. До 1900 г. ученые не имели даже точных сведений о том, где и на какой глубине возникают землетрясения. Нужно было дождаться появления сейсмографов – приборов, позволяющих систе-

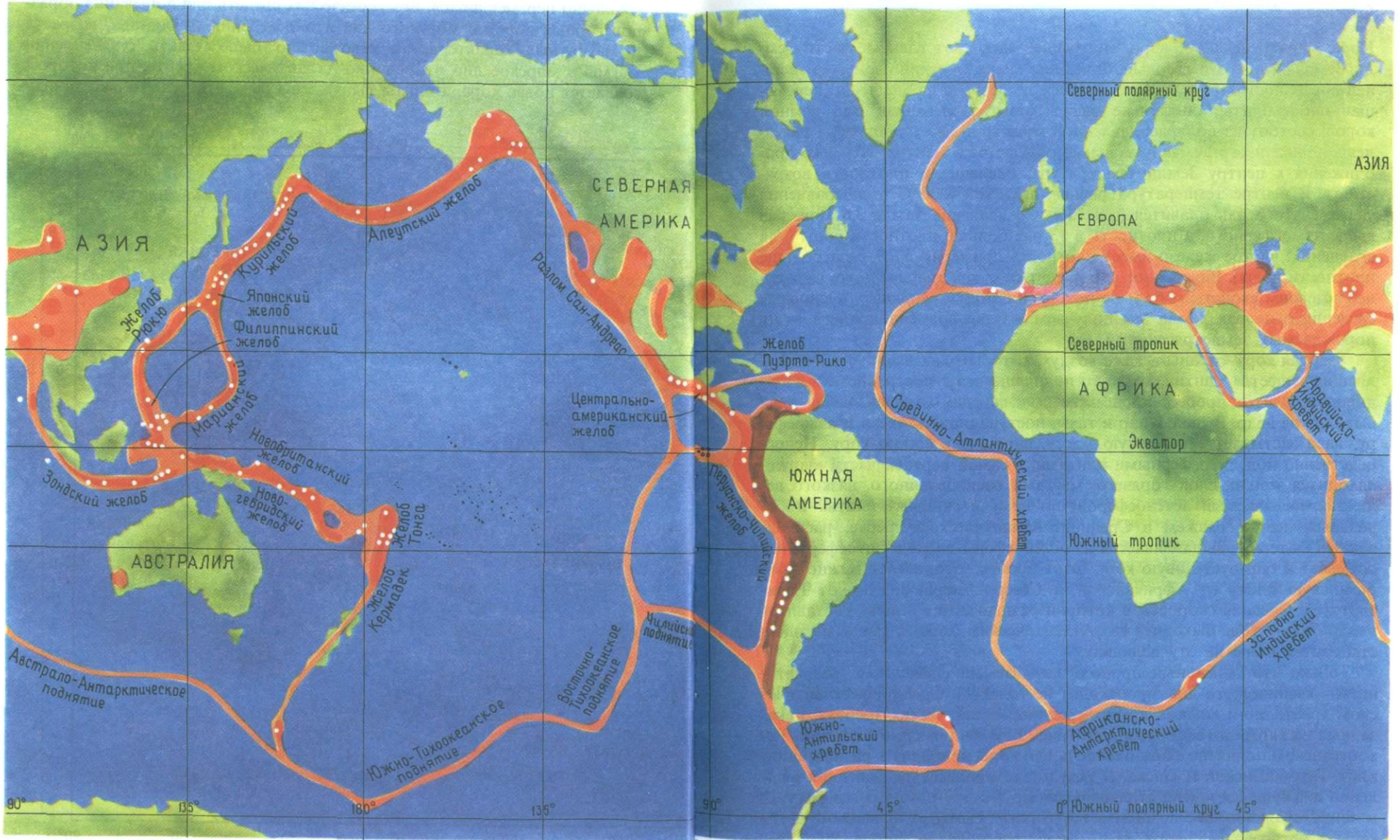
Рис. 2.1. Литосферные плиты Земли. Плиты раздвигаются в стороны при выдвигании магмы из мантии в районах срединно-океанических хребтов; этот процесс называется спредингом (разрастанием) океанического дна. Направления движения плит показаны стрелками. Зоны субдукции (подвига) обозначены у границ плит зубцами. В этих зонах возникает большинство цунами.



матически регистрировать землетрясения и определять их местонахождение. Поэтому неудивительно, что в прежние времена людям приходилось привлекать для объяснения землетрясений разные занимательные сказки. Не имея точнейших методов составления карт, не используя лазерные лучи и космические снимки, они не могли знать, что земная кора непрерывно меняет свои очертания и что сами континенты медленно перемещаются. Без технических средств для добывания образцов горных пород с морского дна и определения их состава, возраста и магнитных характеристик невозможно было узнать о внедрении магмы в морское дно в Срединно-Атлантическом хребте, при котором создается новая кора, а плиты вынуждены раздвигаться. Только много-

### Важнейшие сейсмичные зоны Земли

Землетрясения с магнитудой 8 и более с 1900 г. 



численные научные и инженерные разработки нашего столетия позволили получить полную картину строения Земли, какой мы ее знаем сегодня. Благодаря совместным усилиям и профессиональным способностям сейсмологов, геологов, океанологов, геодезистов, биологов, антропологов, археологов, инженеров-электронщиков была получена эта картина.

## Строение Земли

Кора, мантия, внешнее ядро, внутреннее ядро – вот главные части Земли. Земная кора – это твердый, более или менее жесткий слой у ее внешней поверхности. Кора (точнее, литосфера) разбита на медленно перемещающиеся плиты, описанные выше. Мантия, лежащая под земной корой, состоит из полурасплавленной каменной массы; докрасна раскаленная лава, извергаемая вулканами, рождается в мантии. По мере приближения к центру Земли температура, давление и плотность возрастают. В центре температура равна примерно  $4200^{\circ}\text{C}$  (для сравнения укажем, что сталь плавится при  $1500^{\circ}\text{C}$ ), давление там в 3,6 млн. раз выше атмосферного, а плотность в 13 раз больше плотности воды (для сравнения: чистое железо имеет плотность примерно в 7,9 раза больше плотности воды). Внутреннее ядро ведет себя как твердое тело, а внешнее по своим свойствам больше похоже на вязкую жидкость. Основные сведения о недрах Земли мы получаем, изучая времена пробега волн, порождаемых землетрясениями.

Твердая кора, океаны и даже воздух, которым мы дышим, образовались из вещества мантии, когда-то поднявшегося к поверхности и охладившегося. Этот процесс продолжается и сегодня и виден, когда лава выходит из недр. Выделяя пар и газы, поступающие в океан и атмосферу, лава застывает в каменную массу, наращивая собою кору. Непосредственно под литосферными плитами, в самой верхней части мантии находится тонкий слой горячего, местами расплавленного, вязкого вещества, называемый астеносферой; по нему и скользят плиты. В отдельных местах, скажем в Срединно-Атлантическом хребте, расплавленный материал выдавливается из астеносферы вверх в литосферу, где остывает и образует новую кору. Этот процесс отодвигает Южно-Американскую плиту от Африканской, а Северо-Американскую – от Евразийской. Средняя скорость, с которой раздвигаются плиты, составляет около 7 см в год. Выходит, что Атлантический океан с каждым годом становится шире на эту величину.

Только что описанный процесс, называемый *спредингом* (разрастанием) океанического дна, происходит не только в Срединно-Атлантическом хребте, но и во всех других срединно-океанических хребтах, показанных на карте литосферных плит (рис. 2.1). Например, в Восточно-Тихоокеанском поднятии образование новой коры приводит к раздвиганию плит Тихоокеанской и Наска. В результате процесса раздвигания медленно движущиеся плиты сталкиваются друг с другом в других местах; в зонах столкновения воздымаются горные системы, возникают вулканы и острова, не говоря уже о землетрясениях.

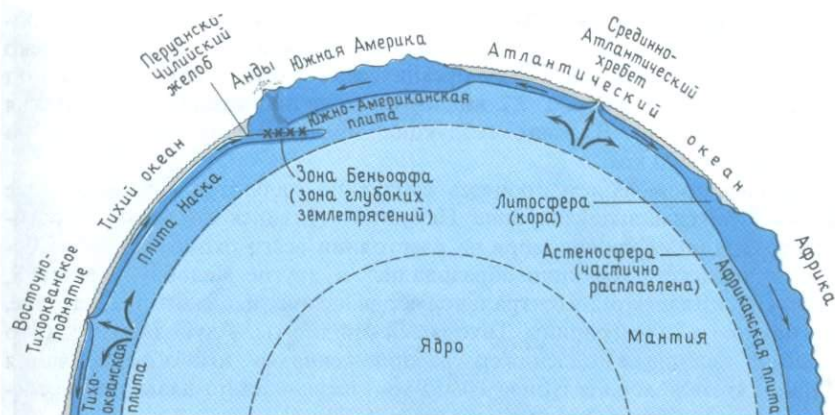


Рис. 2.2. Разрез земной коры (вернее, Земля в разрезе.—Перев.). Новая кора образуется в Срединно-Атлантическом хребте и Восточно-Тихоокеанском поднятии. Плиты Наска и Южно-Американская сталкиваются у Перуанско-Чилийского желоба, где плита Наска пододвигается под континент. Глубокие землетрясения происходят вдоль наклонной зоны контакта плиты с мантией (зоны Беньоффа). Субдукция не только образует глубоководный желоб, но и вздымает Анды и порождает вулканы. (Толщина литосферы и астеносферы сильно преувеличена, чтобы можно было показать коровые структуры.)

Итак, мы видим, что Земля не статична: она развивается, непрерывно изменяя свою поверхность. Если бы это было не так, поверхность Земли давно была бы выровнена эрозией и стала плоской, а океаны залили бы ее целиком.

### Зоны субдукции

В разных местах плиты сталкиваются одна с другой по-разному. Вдоль западного побережья Южной Америки плита Наска и Южно-Американская плита сталкиваются лоб в лоб. Ясно, что одной из них приходится уступить. В результате получается, что плита Наска отклоняется вниз и пододвигается под Южно-Американскую плиту в ходе процесса, который известен под названием *субдукция* (поддви́г). По мере того как в срединно-океанических хребтах из мантии образуется новая кора, старая возвращается в мантию в зонах субдукции. В некотором смысле вся Земля проходит через этот цикл. Основные зоны субдукции расположены вдоль Алеутских островов, возле Японии, на западе Тихого океана (вблизи Филиппинских островов), в Индонезии, у подножья Гималаев, к северу от Новой Зеландии, в океане у западных берегов Южной и Центральной Америки и в Персидском заливе.

Когда одна плита пододвигается под другую, вдоль наклонной поверхности контакта плиты с окружающим материалом, называемой зоной Беньоффа, происходят землетрясения. (Эта зона получила свое название по имени Хьюго Беньоффа, сейсмолога из Калифорнийского

технологического института.) Некоторые землетрясения при этом происходят и на большой глубине; самые глубокие из них заходят далеко в глубь континента, поскольку океаническая плита пододвигается под континентальную (на рис. 2.2 видно, как это происходит у побережья Южной Америки). В зонах субдукции землетрясения происходят на глубинах до 700 км.

Другим проявлением процесса субдукции являются глубоководные желоба. Максимальная глубина Перуанско-Чилийского желоба достигает 8063 м ниже уровня моря на расстоянии всего около 100 км от берега. В процессе субдукции образовались и другие желоба – Алеутский, Японский, Яванский, Центральноамериканский и некоторые другие, в основном вдоль границы Тихоокеанской плиты. Глубочайшее место в океане – впадина Челленджер, расположенная у южного окончания Марианского желоба (глубина 10915 м) и названная по названию исследовательского судна, открывшего ее в 1870 г.)\*

Цепи вулканов также типичны для зон субдукции. Когда одна плита пододвигается под другую, она стремится смять и приподнять вышележащую плиту. Это ведет к образованию горных цепей и вулканов. Иногда вулканы возникают внутри континента, как в Андах, а иногда они образуют цепи островов, как на Алеутских островах и в других местах на западе Тихого океана. Гималаи тоже созданы процессом субдукции, в результате воздействия Индо-Австралийской плиты, движущейся на север и пододвигающейся под Евразийскую плиту.

К рассказу о субдукции надо добавить еще, что большинство цунами мира порождается вертикальными движениями морского дна в зонах субдукции (этот процесс подробно описан в гл. 4). Например, восточные берега Японии подвергались действию многих сильных цунами, возбужденных в Японском желобе, где Тихоокеанская плита пододвигается под Евразийскую.

## Разлом Сан-Андреас

В некоторых районах Земли плиты не сталкиваются в зонах субдукции и не раздвигаются в океанических хребтах, а скользят одна вдоль другой по разделяющей их границе. Наиболее известным примером такого движения плит является зона разлома Сан-Андреас. Она является границей плит, идущей вдоль западного побережья США и протягивающейся в южном направлении через Калифорнийский залив (см. рис. 2.1 и 8.1). Вдоль именно этой границы Тихоокеанская плита движется на северо-запад по отношению к Северо-Американской плите. Скорость их относительного движения составляет 5–8 см в год. Хотя взаимное перемещение основной массы плит происходит непрерывно, проскальзывание вдоль зоны разлома осуществляется нерегулярно. Когда предел

---

\*) Наиболее глубокая точка Мирового океана – впадина Витязь в том же Марианском желобе, открытая в 1957 г. во время 25-го рейса советского судна «Витязь». Ее глубина 11022 м. – *Прим. перев.*



Ручей Уоллис-Крик в центральной Калифорнии своим руслом пересекает разлом Сан-Андреас, приспосабливаясь к каждому землетрясению, смещающему Северо-Американскую плиту (вверху) вправо, а Тихоокеанскую плиту (внизу) влево. За сотни лет землетрясения сместили русло на 120 м. Более позднее и не такое значительное смещение другого ручья видно справа. Фото Р. Уоллеса. [С разрешения Геологической службы США.]

прочности пород на каком-либо отрезке разлома оказывается превышенным, породы дробятся и происходит проскальзывание. Иногда разлом вспарывается на небольшом протяжении, и тогда происходит слабое землетрясение; в другой раз трещина может вспороться на сотни километров, и тогда громадное землетрясение сотрясает западное побережье. При землетрясениях 1906 г. в Сан-Франциско и 1857 г. в Форт-Техоне разлом вспарывался на длину более 400 км. Землетрясения на разломе Сан-Андреас происходят, как правило, на небольших глубинах – от 5 до 40 км ниже земной поверхности.

### Внутриплитовые землетрясения

Время от времени в мире случаются и землетрясения во внутренних частях плит – так называемые *внутриплитовые землетрясения*. Вероятнее всего, они возникают из-за развития деформаций в плитах, вызванного



Эти здания обрушились при Чарлстонском землетрясении 1886 г. в шт. Южная Каролина. Число жертв составило тогда 110 человек, было много раненых. Землетрясения такой силы (приблизительно оцененная магнитуда равна 7,0) редки в восточной части США. Фото Дж. Хиллера. [С разрешения Геологической службы США.]

давлением на их края. Например, территория Китая сдавливается в двух направлениях: с востока – Тихоокеанской плитой, с юга – Индо-Австралийской. По всей вероятности, эти воздействия несут ответственность за землетрясения, возникающие в пределах страны, включая Таншаньское землетрясение 1976 г., которое привело к гибели огромного количества людей. Примерами крупных внутриплитовых землетрясений в США являются Нью-Мадридские землетрясения 1811 и 1812 гг. в долине реки Миссисипи и Чарлстонское землетрясение 1886 г. в шт. Южная Каролина.

### Гавайские острова

Гавайский архипелаг – протянувшаяся на 3000 км цепь островов – тоже порожден движением плит. Местная зона разогрева под литосферной плитой (так называемая *горячая точка*) выдавливает расплавленное вещество к поверхности, создавая вулканический остров. В то время как Тихоокеанская плита движется на северо-запад, горячая точка сохраняет свое положение, остается как бы «заякоренной» в мантии, и в результате цепь островов растет в юго-восточном направлении. Самый молодой остров Гавайи находится на юго-восточном окончании цепи, и в настоящее время он вулканически активен; все более старые острова выстроены по очереди от него в северо-западном направлении. Кауаи –

самый старый из основных островов, известных туристам, но архипелаг тянется до острова Мидуэй и дальше. Острову Мидуэй около 25 млн. лет, и он лежит в 2400 км от острова Гавайи, что дает среднюю скорость движения плиты около 10 см в год. С вулканической активностью здесь связаны и землетрясения; они бывают слабыми, но довольно частыми.

### Землетрясение 1976 г. в Гватемале

Классическим примером землетрясения, вызванного движением плит, было землетрясение 1976 г. в Центральной Америке. Гватемала буквально рассечена надвое, так как она располагается на границе между Северо-Американской и Карибской плитами (рис. 2.1). Разлом Мотагуа протягивается на 300 км вдоль этой границы от Карибского моря на востоке до гор к западу от города Гватемала. Во время страшного землетрясения 4 февраля 1976 г. подвижка по этому разлому погубила 23 000 человек.

Давление, создаваемое разрастанием дна в районе Восточно-Тихоокеанского поднятия, толкает плиту Кокос на восток по направлению к Карибской плите (рис. 2.1). Плита Кокос в процессе субдукции погружается и уходит в глубь мантии. При этом образуется Центральноамериканский желоб, максимальная глубина которого 6662 м ниже уровня моря. Этот процесс субдукции создал длинную цепь вулканов, растянувшуюся вдоль западных берегов Центральной Америки от Панамы до Мексики. В то время как плита Кокос давит в восточном направлении навстречу Карибской плите, Срединно-Атлантический хребет порождает давление на Северо-Американскую плиту в западном направлении. В результате возникает относительное перемещение вдоль границы между Карибской и Северо-Американской плитами, первая из которых движется на восток, а вторая – на запад.

Разлом Мотагуа в Гватемале – часть этой границы плит. Относительное смещение двух плит – около 2 м за каждые 100 лет – уже давно вызывает разрушительные землетрясения в Гватемале. Землетрясение 1976 г. (магнитуда 7,5) привело к максимальному смещению почвы вблизи эпицентра, равному 1,3 м. Сильные сотрясения почвы продолжались около 30 с.

В десятках деревень с глинобитными домами землетрясение вызвало массовые разрушения. В некоторых из них, например в расположенном в центре страны селении Эль-Прогресо, было трудно найти хоть одно уцелевшее здание. Поврежденные шоссе и обрушившиеся мосты изолировали оставшихся в живых. Были нарушены телефонные линии и электрическая сеть. Спасательные и восстановительные работы затруднялись тысячами оползней, которые произошли на крутых склонах, сложенных мягкими породами. Даже в столице республики – Гватемале – были сильно повреждены некоторые довольно новые здания.

Из-за того что линии коммуникаций между столицей и сельскими районами были нарушены, не сразу удалось оценить всю тяжесть разру-

шений и установить число погибших. 5 февраля, на следующий день после землетрясения, телеграф сообщил, что число жертв, по-видимому, достигает 2000 человек. На следующий день, после получения новой информации, было сообщено о 4000 погибших и 12 000 раненых; на третий день заголовки газет говорили о 5000 погибших. Через пять дней после землетрясения газеты США сообщили, что было 15 000 погибших и 40 000 раненых. В конце концов оказалось, что погибло 23 000, ранено 77 000 человек и больше миллиона осталось без крова.

### Типы движений по разломам

Проскальзывание плиты вдоль разлома Мотагуа в Гватемале носит название левостороннего сдвига. Это означает, что плиты движутся по горизонтали одна вдоль другой, причем дальнее крыло разлома (т.е. часть местности, лежащая по другую сторону разлома относительно наблюдателя) смещается влево. Движение грунта на разломе Сан-Андреас, напротив, правостороннее. Если движение по разлому происходит горизонтально, оно называется сдвигом по простиранию, поскольку крылья разлома при этом сдвигаются вдоль его простирания. Простирание – это направление горизонтальной линии, образованной разломом, при пересечении земной поверхности, а сам сдвиг измеряется величиной смещения (расстояние  $AB$  на рис. 2.3).

На некоторых разломах подвижки происходят вертикально, образуя крутые обнаженные срезы – *уступы*. Если «висячее крыло», т.е. выпележащий блок породы, движется вниз, разлом называется сбросом; если вверх – взбросом или надвигом. Движение по вертикальному разлому называют также движением по падению, потому что смещение происходит в направлении падения разлома (угол падения измеряется между плоскостью разлома и горизонтом). Амплитуда смещения – расстояние  $AB$  на рис. 2.3. Конечно, возможны различные сочетания горизонтального и вертикального проскальзывания. Например, термин «левосторонний взбросо-сдвиг» означает, что висячее крыло сместилось по разлому вверх и влево по отношению к лежащему (нижележащему).

### Причиной землетрясения может быть водохранилище

В некоторых районах мира землетрясения могут быть вызваны заполнением больших водохранилищ. Один из первых таких случаев произошел, когда было завершено строительство плотины Гувер на реке Колорадо и началось заполнение водохранилища Лейк-Мид. В районе вокруг Лейк-Мида сейсмическая активность до возведения плотины отсутствовала. После начала заполнения резервуара в 1935 г. стали возникать землетрясения. Первое из них отмечено в 1936 г., а сильнейшее (магнитуда 5,0) произошло в 1939 г., когда водохранилище было заполнено на 80%. Максимальный уровень воды в озере был достигнут

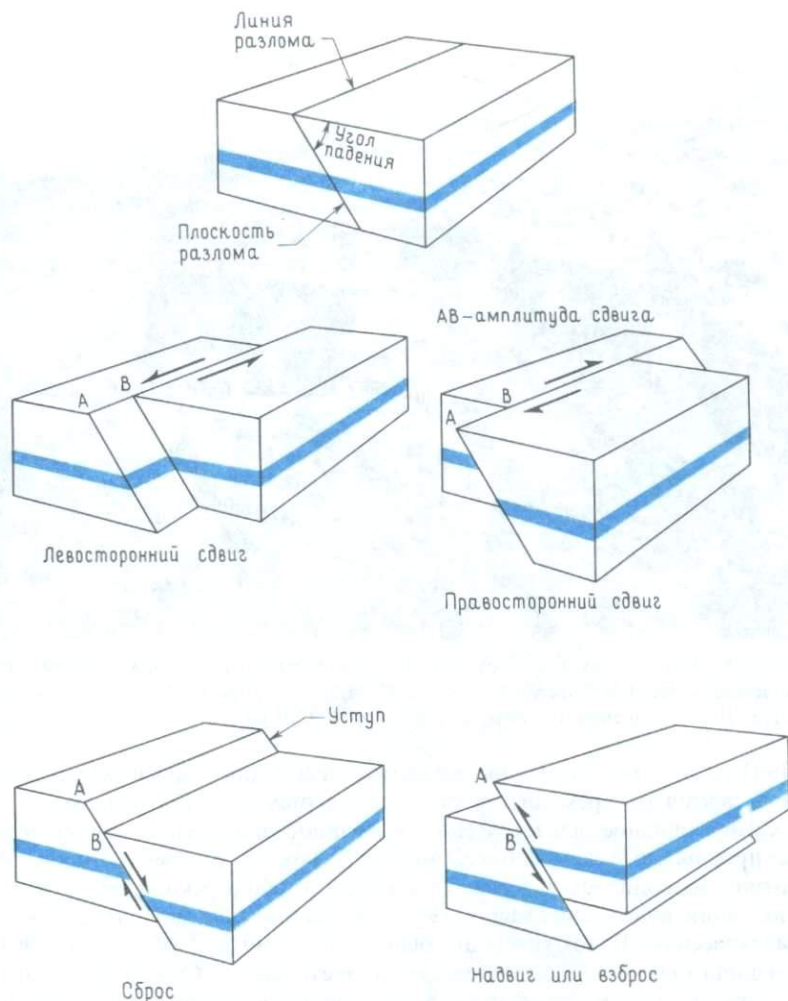


Рис. 2.3. Типы движения по разломам. При сдвиге блоки коры движутся горизонтально, при сбросах и взбросах – вертикально. Горизонтальное движение может быть левосторонним (как вдоль разлома Мотагуа в Гватемале) или правосторонним (как вдоль разлома Сан-Андреас). Вертикальное движение может быть прямым (сброс) или обратным (взброс) в зависимости от того, вниз или вверх перемещается вышележащий блок по отношению к нижележащему.



Большой уступ слева был образован движением вверх блока земной коры при землетрясении в Фэрвью-Пик в шт. Невада в декабре 1954 г. Фото К. Стейнбругге. [С разрешения Геологической службы США.]

в 1941 г., и с той поры продолжается невысокая сейсмическая активность, время от времени проявляющаяся ощутимыми толчками.

Самое сильное землетрясение, вызванное заполнение водохранилища, произошло у плотины Койна недалеко от Бомбея (Индия). Эта плотина возводилась в асейсмичной зоне, однако вскоре после начала заполнения водохранилища в 1962 г. здесь начали ощущаться слабые землетрясения. Водоохранилище было заполнено к 1965 г., а в 1967 г. произошло несколько значительных землетрясений. Сильнейшее из них (11 декабря, магнитуда 6,4) вызвало обширные повреждения соседних селений; погибло 177 человек и ранено 2300. После этого сейсмическая активность заметно снизилась и постепенно прекратилась совсем.

Явления, подобные событиям у плотин Гувер и Койна, происходили в Китае (плотина Синьфын), во Франции (плотина Монтэнар), на границе Зимбабве и Родезии (плотина Кариба), в Греции (плотина Кремаста), в Калифорнии (плотина Оровилл), в Египте (высотная Асуанская плотина) и в некоторых других местах. Обычно землетрясения, вызванные заполнением водохранилищ, бывают слабыми, однако несколько из них имели магнитуды от 5,0 до 6,0, а у трех она превышала 6,0.

Каким образом водохранилище может способствовать возникновению землетрясения? Чтобы ответить на этот вопрос, заметим, что заполнение водохранилища воздействует на земную толщу под ним тре-

мя основными способами. Во-первых, вес воды создает дополнительную нагрузку на землю, создавая дополнительные напряжения в подстилающих грунтах и горных породах. Во-вторых, эти дополнительные напряжения вызывают повышение давления поровой воды в тех объемах грунтов и скальных пород, где вода уже присутствовала до заполнения водохранилища. И в-третьих, вода из водохранилища просачивается в нижележащую среду, повышая ее водонасыщенность и заполняя поры и трещины. Эти эффекты порознь и вместе могут способствовать возникновению землетрясения на разломе, если напряжения на нем были близки к пределу, после которого начинается про-



Во время землетрясения 28 октября 1983 г. в Айдахо (магнитуда 6,9) почва осела более чем на метр, образовав два обращенных друг к другу уступа и создав таким образом грабен (по немецки — «могила»). На поверхности разлом прослеживается на протяжении 45 км. Фото Р. Уоллеса. [С разрешения Геологической службы США.]

скальзывание; возрастание порового давления может снизить прочность пород, уменьшая давление на контакте между их зернами или частицами; увеличение водонасыщенности может создать эффект смазки за счет уменьшения трения вдоль плоскостей разломов и трещин. Заметьте, что водохранилище не есть основная причина землетрясения: его заполнение лишь способствует возникновению землетрясения, создавая условия для высвобождения деформаций в более ранние сроки.

В дополнение укажем, что в некоторых местах сейсмическая активность может быть вызвана и чрезмерно быстрым осушением водохранилища. Это происходит, если давление воды на дне водохранилища падает (из-за быстрого понижения уровня воды) быстрее, чем успевает установиться новое поровое давление воды в породах. Давление воды в порах и трещинах можно снижать лишь постепенно, поскольку для удаления ее из пород требуется определенное время. В результате оказывается, что в породах остается внутреннее давление, снижающее их прочность и способное привести к землетрясениям. Нурекское водохранилище в Таджикской ССР, расположенной к северу от границы с Афганистаном, настолько чувствительно к колебаниям уровня воды, что заметная сейсмическая активность возбуждается там сразу же после того, как уровень воды понижается всего на 3 м.

### **Закачка в скважины – тоже**

Это явление впервые было обнаружено вблизи Арсенала в Скалистых горах, расположенного к северо-востоку от Денвера (шт. Колорадо), на самой окраине города. Там была пробурена 3-километровая скважина для закачки в нее загрязненной отходами воды. Нагнетание отработанной воды в скважину началось в 1962 г., и почти тотчас же стали происходить землетрясения. Закачка продолжалась с различной скоростью еще четыре года, но была прекращена, когда стало ясно, что число землетрясений тесным образом связано с количеством воды, закачанной в недра. Очаги землетрясений располагались здесь в радиусе нескольких километров от скважины на очень небольших глубинах (5 км); в этом районе сейсмичность ранее не отмечалась. Землетрясения ощущались жителями Денвера и привлекли большое внимание общественности. В основном землетрясения были слабыми – с магнитудой менее 4,0, однако сильнейшее имело магнитуду 5,2. Оно произошло в 1967 г., спустя примерно год после того, как закачка воды была прекращена. Наиболее вероятной причиной этих землетрясений было возрастание порового давления в породах, вызванного нагнетанием воды.

Несколько лет спустя появилась возможность проверить эту догадку в районе Рейнджли – небольшого городка на северо-западе шт. Колорадо. Добыча нефти на месторождении Рейнджли началась в 1945 г.; нефть откачивалась из пласта песчаника с глубины около 1,5 км. Поровое давление в породах падало по мере откачки нефти вплоть до 1957 г., когда началась закачка воды в скважины для облегчения вторичной добычи нефти. Поровое давление воды в результате ее нагнета-

## Чарлз Дарвин и тектоника плит

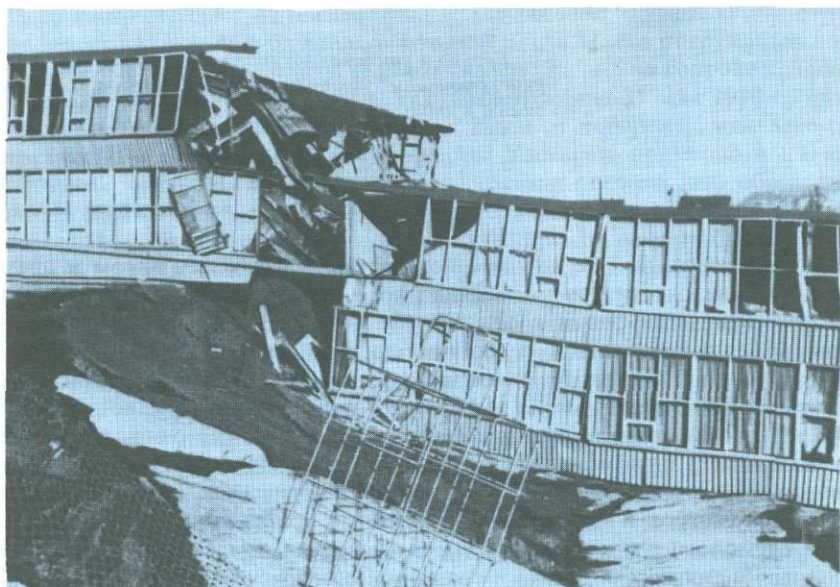
Во время путешествия на корабле «Бигль» Чарлз Дарвин изучал горные породы и жизнь моря вдоль побережья Чили. В скалах на высоте сотен метров над уровнем моря он обнаружил включения морских раковин. Однажды февральским днем 1835 г., когда он отдыхал на берегу под деревьями, началось сильное землетрясение. «Оно возникло внезапно и длилось две минуты, хотя казалось более продолжительным»,— писал он. Он сообщает, что на берег накатилась большая волна, сокрушая деревья и постройки. Корабли были выброшены далеко на сушу.



(Из материалов Архива Беттмана.)

После более тщательного изучения береговой линии он увидел по морской растительности, что во время землетрясения берег поднялся. «Нет сомнения в том, что берег вокруг залива Консепсьон поднялся на два-три фута... На острове Санта-Мария поднятие было бóльшим...» Хотя он не имел представления ни о тектонике плит, ни о строении Земли, он уже имел ключ к пониманию того, как могли морские раковины оказаться высоко в горах. «В Вальпараисо... раковины были найдены на высоте 1300 футов (400 м); трудно сомневаться в том, что это значительное воздымание было вызвано последовательностью небольших поднятий типа того, каким сопровождалось землетрясение в этом году...» Он как бы предвидел современные теории тектоники плит, когда писал: «Жестокое землетрясение в одно мгновение разрушает давно сложившиеся представления; сама Земля, это воплощение всего твердого, качалась под нашими ногами, как легкая корка на воде».

ния оказалось выше, чем было начальное поровое давление нефти в ее залежи. Начиная с 1969 г. Геологической службой США здесь был поставлен ряд контролируемых экспериментов. Воду закачивали в скважины и откачивали из них, и при этом измерялось поровое давление. Для регистрации возможных землетрясений были дополнительно установлены сейсмографы. Оказалось, что в зоне закачки часто происходят слабые землетрясения (с магнитудой 3,5 и менее) и что уровень сейсмической активности соответствует количеству нагнетаемой жидкости. Когда происходила закачка и поровое давление возрастало, число землетрясений также возрастало; когда происходила откачка, число их падало. Так была установлена зависимость между поровым давлением воды в породах и возникновением землетрясений. Вопрос о том, можно ли закачку воды в скважины и полости использовать на практике для управления сильными землетрясениями, пока остается темой для раздумий. Существуют очевидные трудности от контроля за размерами землетрясений до юридических проблем, которые возникают, когда «вмешательство высших сил» заменяется «делом рук человеческих».



Южное крыло здания школы Гавермент-Хилл в Анкоридже (Аляска) было надвое разорвано движением массивного оползня при землетрясении 1964 г. Земляная масса, по-видимому, двигалась довольно медленно, так как столы и оборудование не опрокинулись. Фото М. Дж. Бонилья. [С разрешения Геологической службы США.]

## Оползни, разжижение грунта и другие виды опасных последствий землетрясений

*Горько и унижительно видеть, что дела человеческие, стоившие столько времени и труда, уничтожены в одно мгновение.*

Чарлз Дарвин. «Путешествие  
на „Бигле“» (о Чилийском  
землетрясении 1835 г.)

Нас потрясают, но уже не удивляют растущие с каждым часом и днем после землетрясения цифры выявленного числа погибших, пропавших без вести и лишившихся крова, потому что мы знаем, что землетрясения обладают страшной способностью приносить смерть, разорения и разрушения. Однако сами сотрясения земли ответственны лишь за часть потерь. Землетрясения вызывают и другие геологические эффекты, такие как оползни и разжижение грунта, способные убивать людей и животных, опустошать поля и разрушать здания. Землетрясения порождают и цунами, которые устремляются через океан, проходят тысячи километров и опустошают удаленные прибрежные города.

Сейсмологи разделяют *опасные последствия* землетрясений на природные (например, оползни) и связанные с человеческой деятельностью (например, наводнения из-за прорыва плотины). В табл. 3.1 мы перечис-

Таблица 3.1. Основные виды опасных последствий землетрясений

### *Природные*

Сотрясения грунта  
Нарушения грунта (трещины и смещения)  
Оползни, лавины, сели  
Разжижение грунта  
Оседания  
Цунами  
Сейши

### *Связанные с человеческой деятельностью*

Разрушения или обрушения зданий, мостов и других сооружений  
Наводнения при прорывах плотин и водоводов  
Пожары при повреждениях нефтехранилищ и разрывах газопроводов  
Падение и опрокидывание предметов внутри и вне зданий  
Повреждение транспортных средств, коммуникаций, линий энерго- и водоснабжения, а также канализационных труб  
Радиоактивные утечки из ядерных реакторов

лили основные типы опасных последствий землетрясений. Некоторые из них подробно описаны в этой главе, о других рассказано в разных местах книги.

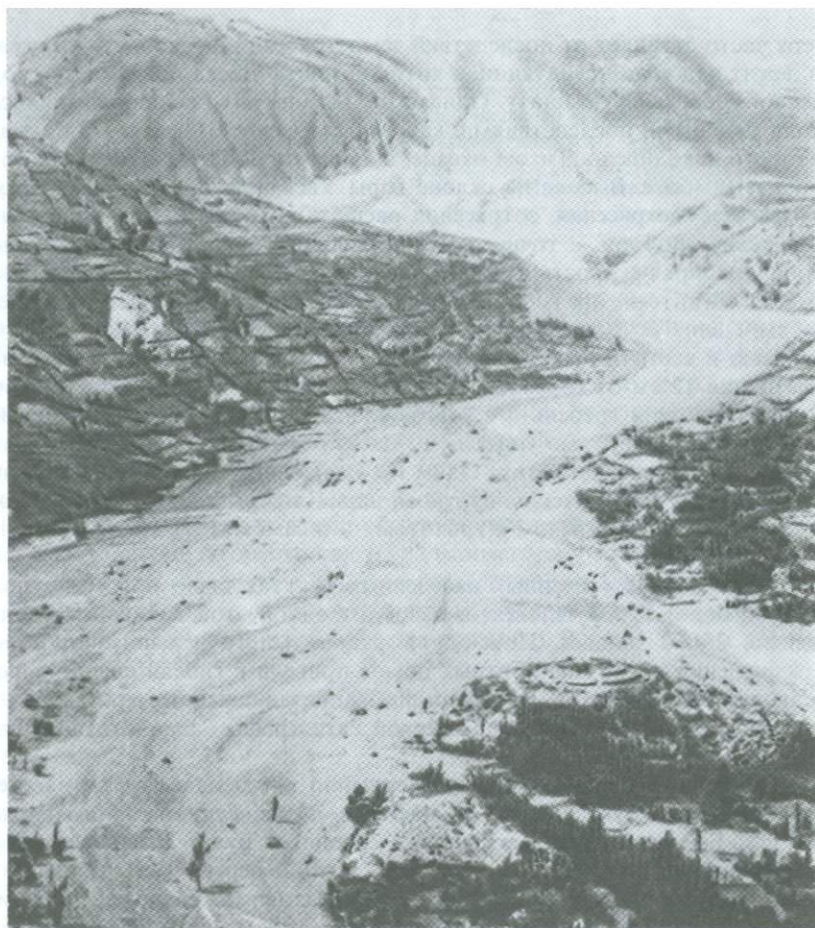
### Оползни на горе Уаскаран и в бухте Литуя

Перу часто страдает от последствий землетрясений, поскольку эта страна лежит над зоной субдукции, в которой плита Наска погружается под Южно-Американскую плиту. Однако ни одно из них не сопровождалось столь ужасными последствиями, как землетрясение 31 мая 1970 г., очаг которого находился в Тихом океане, в 25 км от побережья, недалеко от города Чимботе. Высоко на склоне горы Уаскаран, примерно в 130 км от очага землетрясения, сотрясения расшатали скалы и лед, образовав гигантский оползень, а точнее каменно-ледяную лавину. Несясь вниз по склону, набирая скорость и увеличивая свою массу, лавина быстро приобрела гигантские размеры. Она промчалась со скоростью более 200 км/ч вниз по длинной долине, забивая ее обломками скал, льдом и грязью и частично разрушив городок Ранрахирка, расположенный на расстоянии 12 км от горы. Часть лавины свернула в сторону, перевалила через высокий гребень и с ревом пронеслась через городок Юнгай. Городок был полностью уничтожен; лишь немногие его жители смогли спастись на высоких местах. Один из уцелевших сравнил приближающуюся лавину с гигантским буруном, надвигавшимся со стороны океана с оглушительным ревом и грохотом, — и в самом деле высота лавины превышала 30 м.

Только в двух указанных населенных пунктах было погребено под лавиной более 18 000 человек; в целом от одной этой лавины погибло, видимо, 25 000 человек. Повсюду в районе многочисленные оползни и разрушения тысяч глинобитных домов привели к гибели еще большего числа людей. 67 000 погибших и 800 000 оставшихся без крова — таков итог этой самой тяжелой сейсмической катастрофы Западного полушария.

Далеко на севере, в районе с совершенно иным климатом и населением находится бухта Литуя, входящая в состав национального парка Глейшер-Бей на Аляске. Узкий рукав соединяет бухту Литуя с открытым пространством залива Аляска. Дальний берег бухты проходит вдоль разлома Фэруэтер — крупного сейсмоактивного разлома, протягивающегося параллельно береговой линии. Этот разлом образует два плеча, отходящих от дальнего берега бухты на северо-запад и юго-восток. И здесь землетрясение породило оползень, однако с совершенно другими последствиями.

9 июля 1958 г. сильное землетрясение на разломе Фэруэтер спровоцировало оползень на склоне горы над бухтой Литуя. Огромная масса камней и земли ринулась вниз, обнажая горные склоны и под ними коренные породы. Движущаяся масса обрушилась в северный рукав бухты, завалила его и имела еще достаточно силы, чтобы вехать вверх по противоположному склону горы, содрав с него покров леса на высо-



Каменно-ледяная лавина, образовавшаяся высоко на склонах горы Уаскаран в Перу, погребла под собой городок Юнгай вместе с 18000 жителей. Лавину породило землетрясение, происшедшее на расстоянии 130 км в океане. Кладбищенский холм в правом нижнем углу был единственной уцелевшей частью городка. Кафедральный собор и городская площадь оказались покрыты девятиметровым слоем грязи и обломков, и лишь верхушки нескольких пальм в центре потока указывают на их местоположение. Лавина, завалившая Юнгай, была лишь малым ответвлением основной лавины, которая прошла правее по каньону с другой стороны от небольшого хребта, видного прямо над городом. Фото Дж. Плафкера. [С разрешения Геологической службы США.]



Бухта Литуя на Аляске после землетрясения 1958 г. Оползень сошел со склона горы (А) в северный рукав залива и захлестнул противоположный склон на 300 м вверх (В). Порожденная оползнем волна слизнула начисто все со склона горы и с береговой линии. Рыбачий баркас был переброшен через отмель (С) и кинут в океан. [С разрешения Информационной службы Национального управления по океану и атмосфере (NOAA).]

ту более 300 м. Оползень породил гигантскую водную волну, которая буквально вымела бухту Литуя в сторону океана – волна была так высока, что перехлестнула целиком через всю отмель в устье бухты.

Бухта Литуя – излюбленное место рыбной ловли, и три рыбацких судна были там, когда обрушилась волна. Один баркас, с Биллом и Ви Свансон на борту, был поднят высоко над обычным уровнем воды, легко перенесен через одну из отмелей и сброшен в океан. Баркас затонул, но Свансоны чудом уцелели и были спасены в море двумя часами позже. Во время кошмарной скачки на гигантской волне их суденышко колотило о деревья и обломки. В тот момент, когда их переносило через отмель, они видели *под* собой стоящие деревья. Из двух других баркасов один благополучно выдержал волну, но другой потонул, а находившиеся на нем люди пропали без вести. Шкипер уцелевшего баркаса оценил высоту волны в 30 м.

## Другие оползни при землетрясениях

Хотя такие гигантские оползни, обвалы и лавины, как на горе Уаскаран и в бухте Литуя, случаются редко, разрушительные оползни часто сопутствуют землетрясениям. Если вам случится побывать на так называемом озере Землетрясения, образовавшемся на реке Мейдисон в шт. Монтана, чуть западнее Йеллоустонского национального парка, вы увидите остатки огромного оползня, запрудившего реку и создавшего озеро. Землетрясение 17 августа 1959 г. породило оползень с горы над рекой. Оползень сполз по склону горы и снес кемпинг, навсегда похоронив нескольких туристов с их палатками и автомашинами. Затем он обрушился в реку, полностью завалил ее русло и поднялся на противоположный склон горы. Течение реки было остановлено этой естественной плотиной, и в результате образовалось новое озеро.

При землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо (шт. Калифорния) образовались сотни малых оползней в горах Сан-Габриель. Они разрушили дороги, дома и небольшие сооружения. В Гватемале при землетрясении 1976 г. к северу и западу от города Гватемала с холмов сошли тысячи оползней. Заваленные дороги отрезали доступ ко многим селениям и сильно осложнили проведение спасательных работ. В самом городе многие дома на склонах холмов были сметены оползнями.

Значение такого опасного явления, как оползни, стало слишком очевидным для тех, кто жил в районе залива Сан-Франциско во время последних сезонов дождей, когда оползни, вызванные переувлажнением грунта, причинили заметные повреждения склонам холмов, домам и шоссевым дорогам. Несколько человек погибло, были блокированы две главные автомагистрали, одна из них — на несколько недель. Если столько оползней могло возникнуть *без* землетрясения, вообразите, какие размеры примет образование оползней *при* землетрясении, особенно в дождливое время.

Грунты, значительно ослабленные тысячелетним воздействием подвижек по разломам, особенно подвержены оползням. В Дейли-Сити, пригороде Сан-Франциско, большое строительство жилых домов развернулось прямо на разломе Сан-Андреас, в том месте, где он переходит в Тихий океан. Хотя в последние годы здесь не отмечалось заметных подвижек по разлому, на обрывах, обращенных к океану, часто возникают оползни. Оползневая зона понемногу разрастается, и некоторые дома уже пришлось снести. Процесс этот продолжается, и в оставшихся домах вдоль границы оползней уже появляются трещины. В этом самом месте смещение вдоль разлома Сан-Андреас при землетрясении 1906 г. составило один-два метра. Можно лишь предполагать, что живущие здесь люди не подозревали об опасности, когда покупали эти дома. Удивительно, как организации, ответственные за районирование и планирование, допустили строительство на столь подозрительном месте.

Сегодня для многих районов Калифорнии составлены карты, на которых указаны места, подверженные оползням. Планировщики должны



Огромный оползень при землетрясении 1958 г. образовал естественную плотину поперек реки Мейдисон в шт. Монтана, к западу от Йеллоустонского национального парка. *Вверху*: вид на плотину вниз по течению. Вновь образованное озеро понемногу наполняется, затопляя деревья. Фото Р. Бейли. [С разрешения Геологической службы США.] *Внизу*: вид на новую плотину вверх по течению. Озеро лежит по ту сторону, и русло реки теперь сухое. [С разрешения Службы леса США.]



обращаться к этим картам и исследовать потенциальную опасность оползней, прежде чем возводить какие-либо постройки в таких районах. Если вероятность оползня достаточно велика, можно принять специальные меры по стабилизации склонов; несмотря на их дороговизну, эти меры окажутся все же дешевле, чем последующие ремонтные работы. Если меры предосторожности не могут быть приняты, территорию лучше оставить неосвоенной.

### Оползни и разжижение грунта на Тернагейн-Хайтс

Наиболее впечатляющий оползень за последние два десятилетия был вызван явлением, известным под названием *разжижение грунта*. В ходе этого процесса почва из твердого состояния переходит в вязкое полужидкое, напоминающее зыбучий песок. Разжижение происходит, если почвы некоторых типов подвергнуть вибрации, и поэтому оно обычно при землетрясениях. Когда некоторый слой почвы разжижается и начинает течь, он не может уже нести на себе тяжесть самой почвы или сооружений на ней, и тогда начинается проседание, приводящее к разрушениям. Чтобы возникло разжижение, почвенный слой должен состоять из определенного материала (обычно песка) и быть насыщен водой. Кроме того, колебания от землетрясения должны иметь определенные частоты, и сотрясение должно быть достаточно продолжительным – обычно от 10 до 20 с.

Все необходимые условия для разжижения почвы существовали в Тернагейн-Хайтс – красивом жилом районе города Анкоридж на Аляске, расположенном на склоне, который обращен в сторону небольшого рукава Ник-Арм залива Кука. Слой песчаной почвы под земной поверхностью подвергся разжижению во время землетрясения Страстной пятницы 1964 г.\*) Из-за потерявшего прочность поддерживающего слоя почвы весь склон пополз вниз и соскользнул в сторону моря. Грунт расчленился на большие глыбы, которые продвигались, вздыбливаясь и вертясь; между глыбами земли возникли большие трещины и расщелины, образовались уступы, высота которых достигала 15 м. Дома с их обитателями внутри поехали вместе с землей, крутясь, наклоняясь и ломаясь на ходу. Сползший участок земли имел длину 2 км и ширину в среднем 300 м. Более 70 зданий было сдвинуто и разрушено этим оползнем.

Г-жа Лоуэлл Томас (младшая), чей дом был среди разрушенных, описала в журнале «Нэшнл джеографик» за июль 1964 г. драматические переживания членов своей семьи. Вначале они услышали страшный грохот, а затем их дом начало отчаянно трясти. Они выскочили наружу, но толчки были столь сильны, что их сбilo с ног, и они так долго лежали в снегу, что это «казалось вечностью». Потом дом стало раздирать на

---

\*) Сильнейшее землетрясение на Аляске произошло 27 марта 1964 г. в день Страстной пятницы по церковному календарю. – *Прим. перев.*



Разжижение грунта в результате землетрясения 27 марта 1964 г. в Анкоридже (на Аляске) породило оползень в Тернагейн-Хайтс, который сорвал участки земли вместе с домами, сдвинув некоторые из них на 90 м. [С разрешения Геологической службы США.]



Развалины этих домов в Тернагейн-Хайтс показывают, какой разрушительной силой может обладать оползень. [С разрешения Информационной службы NOAA.]

части, деревья валило на землю, а земля разламывалась на огромные куски. Шум сделался оглушительным. Земля дробилась и ползла, неся их с собой в безумной тряске. Когда это наконец прекратилось, их дом оказался сдвинут на 200 м, однако все члены семьи остались целы и невредимы. Не все их соседи отделались так же легко; двое детей из соседнего дома были заживо погребены оползнем.

Это землетрясение привело к образованию множества других оползней и впечатляющих нарушений грунта. В Анкоридже оползнями, возникшими из-за разжижения грунта, большие повреждения зданий были произведены на Четвертой авеню, L-стрит и в Гавернмент-Хилл. В Вальдесе в результате подводного оползня, также вызванного разжижением, соскользнула в море часть набережной длиной 1 км и шириной 60 м, разрушив портовые постройки.

### **Другие катастрофические случаи разжижения почвы**

Впечатляющие оползни – не единственное возможное следствие явления разжижения грунта. В июне 1964 г. вблизи Ниигаты (Япония) в прибрежном районе с песчаной и сильно водонасыщенной почвой произошло землетрясение с магнитудой 7,5. Разжижение привело к проседанию грунта на большой территории и вызвало повреждения дорог, нефтехранилищ, трубопроводов и зданий. Кинохроника запечатлела людей, которые по пояс увязли в разжиженной почве и не могли выбраться без посторонней помощи\*).

Несколько больших жилых домов без заметных повреждений медленно осели и накренились в разжиженной почве, так что одно из них образовало угол  $85^\circ$  с вертикалью. Движение шло медленно, и никто не пострадал, хотя впечатление было страшным. В других местах из-под земли вырывались фонтаны воды с песком, оставляя отверстия в виде невысоких песчаных воронок.

Во время землетрясения 1906 г. в Сан-Франциско разжижение принесло большие повреждения зданиям в районе набережной. О явлении разжижения в 1906 г. еще ничего не знали, и причина этих повреждений оставалась нераскрытой еще много лет. При более поздних землетрясениях в Калифорнии две земляные плотины стали жертвами разжижения в самом теле плотины. Плотина Шеффилд обрушилась при землетрясении 1925 г. в Санта-Барбаре, в результате чего была затоплена большая часть города. Плотине Ван-Норман были причинены непоправимые повреждения во время землетрясения 1971 г. в Сан-Фернандо, и десятки тысяч жителей пришлось выселить из их домов. Обе эти плотины возводились методом намыва грунта, который теперь больше не применяется. Результатом разжижения (во время землетрясения Дейли-Сити

---

\*) Не надо бояться быть полностью затянутым в разжиженную почву или зыбучий песок, так как почва имеет гораздо больший удельный вес, чем человеческое тело.



Разжижение подстилающей почвы привело к медленному наклону и проседанию этих жилых домов в Ниигате (Япония) в результате землетрясения в июне 1964 г. (магнитуда 7,5). Сама конструкция зданий была настолько хорошей, что в их стенах не появилось ни одной трещины. Никто не пострадал. Когда произошел толчок, одна женщина находилась на крыше своего дома, где развешивала белье после стирки. Когда через несколько минут крыша здания опустилась до земли, она благополучно спрыгнула с нее. [С разрешения Дж. Хаузнера из Калифорнийского технологического института и Информационной службы NOAA.]

в 1957 г. с магнитудой 5,3) были и небольшие оползни вдоль берега озера Мерсед в Сан-Франциско.

Разжижение, как правило, чаще всего возникает в низинах, вблизи морских берегов, заливов, маршей (т.е. низменных областей у моря, затопляемых во время самых высоких приливов и нагонов воды.— *Перев.*), рек и озер. В таких местах часто встречаются песчаные отложения, почва там мягкая и обильно насыщена водой. В Калифорнии примерами могут служить участки насыпных грунтов вокруг залива Сан-Франциско, осваиваемая полоса земли на тихоокеанском побережье и многие участки вокруг Лос-Анджелеса. Для разных районов Калифорнии имеются карты с указанием участков, где существует опасность разжижения грунта, и эти карты следует использовать, если вы собираетесь строить в таких местах.

Избавиться от опасности разжижения непросто, и люди часто решают положиться на судьбу. Наиболее надежное средство — не строить там, где вероятность возникновения разжижения велика. Однако, если застройщик все же решится на это, можно предложить три метода для

уменьшения вероятности разжижения. Первый метод, называемый виброфлотацией, состоит в уплотнении песка для уменьшения его способности к разжижению. Тяжелое вибрационное устройство устанавливается на грунте, и одновременно с вибрацией в грунт закачивается вода. Сочетание вибрации и добавки воды вызывает разжижение песка, после чего он утрамбовывается тяжестью устройства. Для заполнения освободившегося пространства добавляется новый песок. После окончания работы плотный слой, не поддающийся разжижению, занимает место слабого, способного к разжижению слоя песка. Во втором методе используется подземный дренаж для удаления из песчаного слоя избытка воды; после того как почва осушена, исчезают условия для ее разжижения. Третий метод состоит просто в том, что слой, подверженный разжижению, вынимается и удаляется. Из-за своей дороговизны все эти способы не очень нравятся домовладельцам и строителям.

### Оседание грунта

Другой вид серьезной и достаточно частой угрозы при землетрясениях – проседание земной поверхности. Когда при землетрясении грунт вибрирует, частицы его уплотняются; при этом каждая частица укладывается так, чтобы занять меньше места (посмотрите, что будет с содержимым коробки с кукурузными хлопьями, если ее потрясти). Когда общий объем почвы уменьшается в результате такого процесса, земля оседает, образуя провалы. Из-за проседания участки земли наклоняются, растрескиваются и разламываются, вызывая повреждения домов, дорог, мостов и трубопроводов. Самое тщательное проектирование не спасет эти сооружения, если твердь, на которой они покоятся, становится зыбкой.

Проседания особенно часто образуются во время землетрясений на грунтах, легко поддающихся сжатию. Насыпные грунты, особенно там, где прежде была топь, относятся к этому типу. В распоряжении тех, кто строит на подобных почвах, нет простого способа избавиться от угрозы. Можно, конечно, просто удалить плохой грунт, но это обойдется слишком дорого, и поэтому в таких случаях обычно применяют специальные фундаменты, которые проходят сквозь слабую почву и опираются на более прочный слой в глубине. С этой целью обычно используют свайные основания, но и они все же очень дороги.

Во время землетрясения 1906 г. проседания в Сан-Франциско произошли в районах, где грунт был подсыпан, в частности вдоль набережных и на заболоченных местах в глубине территории. Там, где проседание превысило метр, на улицах и в домах возникли большие трещины и были порваны подземные коммуникации. При Таншаньском землетрясении 1976 г. в Китае также наблюдались большие проседания грунта, особенно вдоль берега морского залива Бохайвань. Тяжелые повреждения получили системы ирригации, а одна прибрежная деревня, осевшая на 3 м, постоянно затоплялась морем.

## Землетрясения и плотины

Обрушение плотины в результате землетрясения – страшная угроза, особенно для тех миллионов людей, которые живут в потенциально затопляемых зонах ниже плотин. Кинематографисты давно поняли, какие захватывающие сцены можно сделать из этой опасности, и вот в кинофильмах с землетрясением обязательно появляется плотина, которая качается, растрескивается и находится на грани обрушения.

Районы, подверженные затоплению при обрушении плотины, занимают гораздо большую площадь вниз по течению, чем сама плотина, причем жители часто даже не подозревают о том, что живут или работают в зоне возможного затопления. К примеру, в ближайших окрестностях Сан-Франциско находится 226 плотин; более полумиллиона человек живет в зоне возможного затопления этих плотин. Нижнее водохранилище Кристалл-Спрингз может затопить большую территорию в городе Сан-Матео; водохранилище Лексингтон может сделать то же самое с городом Сан-Хосе; водохранилище Калаверас – с Фримонтом; озеро Чэбот – с Сан-Леандро, а водохранилище Сан-Пабло – с городом Сан-Пабло. Подобная же опасность существует в Сакраменто, Лос-Анджелесе, Сан-Диего и других крупных городах. Конечно, плотины подвергаются регулярной проверке их сейсмической безопасности, и, если возникает подозрение в их недостаточной надежности, владельцев обязывают понизить в них уровень воды.

Во время землетрясения 1971 г. в Сан-Фернандо (магнитуда 6,6) серьезно сотрясению, длившемуся 15 с, подверглись обе плотины водохранилища Ван-Норман, верхняя и нижняя. Эти плотины находятся к северу от долины Сан-Фернандо, прямо над густонаселенной зоной, и обе они насыпные. Сотрясения были настолько сильными, что вызвали разжижение грунта в теле самих плотин. Плотины потеряли прочность и подверглись большим повреждениям. Верхняя плотина сдвинулась примерно на 2 м вниз по течению, а гребень ее просел на 1 м. Несмотря на такие значительные смещения, плотина сдержала напор воды за ней. Плотине, однако, грозила опасность обрушения, особенно при сильных афтершоках, поэтому воду из водохранилища пришлось как можно скорее спустить.

С нижней плотиной, расположенной примерно на километр ниже по течению, произошло примерно то же; значительная часть плотины, обращенная в сторону верхнего бьефа, сползла в водохранилище. Будь уровень воды всего на метр выше или продлился колебания на несколько секунд больше, плотина неизбежно рухнула бы, открыв дорогу воде. В тот момент никто не мог быть уверен, что плотина сможет держаться и дальше, и около 80 000 жителей, живших в зоне возможного затопления, пришлось эвакуировать. Четыре дня ушло на то, чтобы спустить воду в водохранилище до безопасного уровня, и только после этого людям было разрешено вернуться в свои дома. Впоследствии посередине между двумя поврежденными плотинами была воздвигнута новая, и но-



Нижняя плотина Ван-Норман чуть не обрушилась при землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо. Большая часть гребня плотины сползла в водохранилище. Население было эвакуировано из зоны ниже плотины, пока уровень воды не был снижен спуском и откачкой. Фото Р. Уоллеса. [С разрешения Геологической службы США.]

вое водохранилище, Лос-Анджелесское, с успехом заменило два прежних. Отремонтированная верхняя плотина продолжает функционировать, удерживая очень ограниченный объем воды, а нижнее водохранилище используется для предотвращения наводнения и не содержит постоянного объема воды.

Мы сосредоточили внимание на том, как разрушались две плотины Ван-Норман, однако следовало бы упомянуть и многие другие, для которых землетрясение в Сан-Фернандо прошло без последствий. В ра-

диусе 40 км от эпицентра было еще 28 плотин высотой от 10 до 60 м. Ни одна из них не получила значительных повреждений. Прекрасно вела себя арочная бетонная плотина Пакойма, расположенная почти прямо над очагом землетрясения. В месте ее левой заделки было зарегистрировано исключительно высокое ускорение грунта (более  $1,0 g$ , где  $g$  – ускорение силы тяжести), и в каньон ниже нее сошло множество небольших оползней и обвалов, однако сама плотина осталась невредимой. Объясняется это просто – эта и большинство других плотин были построены недавно, и их проектировщики должным образом учли возможные сейсмические воздействия. В отличие от них нижняя плотина Ван-Норман была построена в 1915 г., задолго до того, как стали понимать существо явления разжижения грунта и характер сейсмических воздействий.

При землетрясении 17 августа 1959 г. (магнитуда 7,1) подвергалась очень сильному сотрясению плотина Хебген-Лейк в шт. Монтана, западнее Йеллоустонского национального парка. Эта плотина стоит на реке Мейдисон, чуть вверх по течению от озера Землетрясения, образованного оползнем и описанного выше. Эта плотина была сооружена из насыпного грунта с бетонной диафрагмой внутри, устроенной так, что она проходила вертикально сквозь всю плотину и входила в нижележащие грунты основания. Во время землетрясения гребень плотины опустился на 2 м, а трещины появились не только в намытом грунте, но и в бетонной диафрагме плотины. Несколько раз волны в водохранилище, вызванные сильными вертикальными движениями грунта, переклестывали через плотину. Несмотря на это, плотина удержала воду, и наводнения не произошло.

Разрушение плотины Шеффилд во время землетрясения 1925 г. в Санта-Барбаре (магнитуда 6,3), как мы уже отмечали, было вызвано опять-таки разжижением грунта. Эпицентр землетрясения находился в 17 км. Плотина была земляной и располагалась рядом с восточной окраиной города. Часть плотины сползла на 30 м вниз по течению, высвободив 150 млн. л ( $150 \text{ тыс. м}^3$ ) воды, которая затопила большую территорию. Теперь здесь под тем же названием воздвигнута новая плотина.

### Постройки из сырового кирпича

Во многих районах земного шара люди живут в домах, построенных из дешевого строительного материала. Обычно брикеты такого материала называют сырцовым кирпичом, хотя существует множество разнообразных модификаций такого материала, отличающихся от «настоящего» кирпича-сырца. Все дома такого типа имеют общие черты – толстые стены из неармированных брикетов или блоков слабого материала, слабый раствор, тяжелая крыша и отсутствие надежных связей между стенами и крышей. Дома сооружаются непрофессиональными строителями из недорогого, легко доступного природного строительного материала. Способ возведения зданий переходит в каждом



Сырцовые дома в высшей степени подвержены тяжелым повреждениям при землетрясениях. Это селение в Гватемале было почти полностью разрушено при землетрясении 1976 г. Столь же сильно пострадали десятки других селений, располагавшихся вдоль разлома Мотагуа. Фото Р. Мэдлена. [С разрешения Национального географического общества.]

районе от поколения к поколению. Сырцовые здания—обычный вид строительства в сельских местностях Центральной и Южной Америки, северной Африки, во многих частях Среднего и Ближнего Востока, в Китае и на Филиппинах. К несчастью, все эти районы отличаются высокой сейсмичностью, а сырцовые дома при землетрясениях оказываются смертельно опасными для их жителей.

Опасность сырцовых сооружений стала более чем очевидной после Гватемальского землетрясения 1976 г., случившегося в 3 ч 00 мин ночи, когда большинство людей находилось в своих домах. Из 23 000 жертв большинство погибло из-за обрушения сырцовых домов в небольших селениях, расположенных вдоль линии разлома Мотагуа. Тяжелым разрушениям подверглось более 300 селений; во многих из них обрушились практически все здания до единого.

В Гватемале дома строят из тяжелых сырцовых брикетов на глиняном растворе. Крыши настилают из тростника, черепицы или гофрированного металла по горизонтальным балкам, опирающимся на сырцовые стены. Когда стены рушатся, крыши также обваливаются, и у обитателей остается мало шансов выжить. Такие дома—это все, что могут позволить себе многие жители, а перестройка домов все по той же традиционной схеме начинается сразу же после землетрясения.

В этом отношении Гватемала ничем не отличается от других стран, переживших разрушительные землетрясения.

Уже давно пытаются решить проблему замены домов из сырцового кирпича, создав простые и недорогие методы строительства, однако не-легко изменить традиции, которым следовали многие поколения. Здесь требуется широкая программа массового просвещения и практическое обучение новым способам строительства.



Цунами, зародившееся на континентальном шельфе у берегов Чили, забросило это рыболовное судно на крышу жилого дома в Офунато, на побережье Санрику в Японии. Волне цунами потребовалось 22 ч, чтобы проделать путь в 18 500 км со средней скоростью 840 км/ч. Это землетрясение (магнитуда 8,5) произошло 22 мая 1960 г. Фото А. Шимбун. [С разрешения К. Исиды.]

*Чудовищные волны нахлынули со скоростью, которую нельзя было предвидеть... Я видел детей, уносимых волнами прямо к гибели.*

Рассказ очевидца о цунами  
в мае 1983 г. на побережье  
Японии

Остров Ченега — обычно спокойное и мирное место. До 27 марта 1964 г. здесь, в нескольких милях от побережья Аляски, в юго-западной части залива Принс-Вильям проживало 80 человек. Многие жители занимались охотой и рыболовством, и жизнь на Ченеге была нелегкой, но простой. Кроме домов здесь были церковь, школа, кладбище и причал для рыбацких судов.

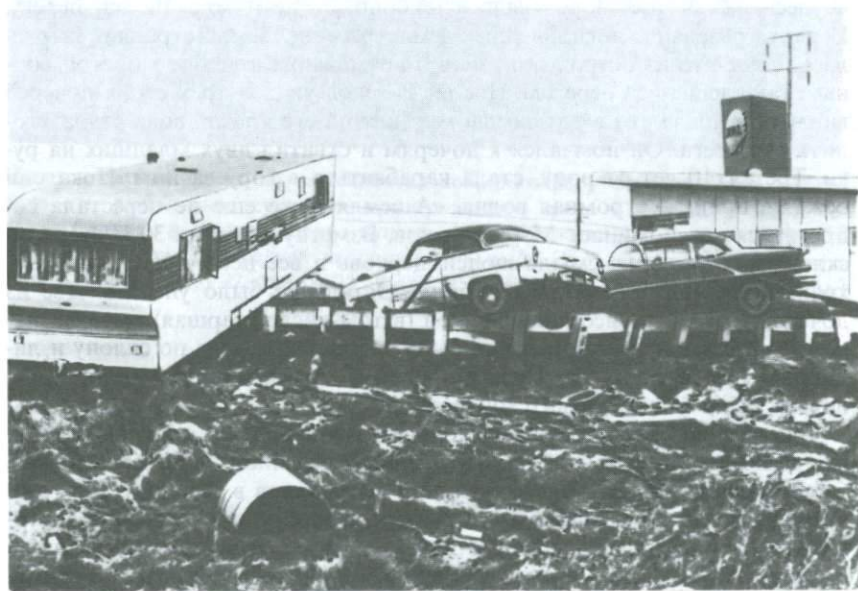
Страстная пятница 1964 г. была, как вспоминает один из жителей, «чудесным днем», море было спокойно, и дети играли на берегу. И вдруг разразилось сильнейшее землетрясение. Земля страшно затряслась, и кое-кто из островитян, зная о возможном приходе морской волны, стал следить за берегом. Никлас Комков увидел трех своих дочерей внизу под причалом в тот самый миг, как на его глазах вода стала уходить от берега. Он помчался к дочерям и схватил двух младших на руки. Третья, 10 лет от роду, стала карабкаться в гору за ним. Пока они бежали, пришла огромная волна. «А земля даже еще не перестала содрогаться», — вспоминает Мэри Комков. Взметнувшись на 30 м вверх по склону холма, волна смыла людей, церковь и все небольшие дома. Сохранились лишь школа да кладбище. Остальное было унесено. Две из дочерей Комкова, унесенные волной (в том числе старшая), исчезли навсегда. Никлас и третий ребенок были заброшены вверх по склону и лишились чувств, но чудом уцелели. Из 80 жителей острова Ченега 23 человека были убиты гигантской волной.

Уцелевшие провели ночь на холоде, сгрудившись у костров на холме, выходящем над их разрушенным селением, и на другой день были вывезены на корабле и самолете через залив в Кордову. При эвакуации были использованы и два рыбацких судна, уцелевшие, потому что их владельцы рыбачили далеко в море. В конце концов люди расселились кто куда. Никлас и Мэри Комковы переехали в Анкоридж. Однако они, как и другие уцелевшие, не теряли надежды когда-нибудь восстановить свой поселок, и в 1983 г. несколько человек вернулись на один из островов недалеко от Ченеги.

## От Аляски до Кресент-Сити

В ту самую Страстную пятницу 1964 г. жители Кресент-Сити, шт. Калифорния, более чем в 2500 км от острова Ченега, были предупреждены о том, что у берегов Аляски образовалась морская волна — цунами. Никто не знал точно, что может совершить эта волна после того, как пересечет Тихий океан. Предосторожности ради жители Кресент-Сити были выведены из прибрежной зоны и из других мест вдоль североамериканского побережья. Спустя четыре часа после того, как громадная волна ударила по острову Ченега, она докатилась до Кресент-Сити. Оставалось минут двадцать до полуночи. Первая волна поднялась в гавани на высоту всего 1 м и не причинила повреждений, и тогда кое-кто из тех, кто был выведен ранее из прибрежного района, вернулся, думая, что опасность миновала. Для нескольких из них этот поступок был роковым, потому что в течение двух следующих часов прошло несколько новых волн. Самая большая из них, высотой 6 м, пришла через полтора часа после первой.

Во время своего ночного буйства в Кресент-Сити цунами повредило несколько сотен построек и погубило 11 человек. 25-тонный бетонный блок, служивший частью волнолома, был выброшен на берег. Волны перевертывали автомобили и забили улицы бревнами и обломками. До-



Разрушения в Кресент-Сити, шт. Калифорния (США), после цунами 1964 г., возникшего на расстоянии 2500 км на Аляске. 11 человек, вернувшихся на берег слишком рано после эвакуации прибрежной зоны, были погублены подошедшими волнами цунами. [Из материалов Инженерных войск армии США.]

ма были сдвинуты с мест, причал скручен, а 23 судна, стоявшие на якоре в гавани, затоплены или опрокинуты. 54 жилых дома были уничтожены и еще многие повреждены. Лопнуло пять цистерн с нефтью, и начались пожары. Работы по спасению и расчистке начались сразу же, но восстановление и ремонт потребовали несколько месяцев. Чтобы избежать подобной катастрофы в будущем, городские власти решили разместить деловую часть города на возвышенном месте, а на низменных береговых участках был разбит парк.

Бедствия, подобные тем, которые испытали остров Ченег и Кресент-Сити, случаются где-либо вдоль берегов Тихого океана каждые несколько лет. В мае 1983 г. в результате сильного землетрясения под дном Японского моря, у западных берегов главного из Японских островов Хонсю возникло цунами, которое погубило 105 человек, в том числе группу школьников, только что собравшихся на пикник на берегу недалеко от города Акита.

Гавани на побережье Японии, в особенности вдоль северо-восточного побережья острова Хонсю, называемого побережьем Санрику, чаще других оказываются мишенями для ударов разрушительных цунами. Большинство японских цунами возбуждается землетрясениями в близлежащих желобах – Японском и Рюкю, но иногда они приходят из гораздо более далеких мест – с Аляски или из Южной Америки. Ударам разрушительных цунами подвергались также западное побережье Северной Америки, Алеутские острова, Филиппины, Новая Гвинея, Индонезия, острова в южной части Тихого океана, Гавайские острова, Перу, Чили и Центральная Америка. Менее известны, но не менее разрушительны цунами в Карибском море, на восточном побережье Атлантического океана, в Средиземном море и Индийском океане.

Японское слово «цунами» ныне общепринято для обозначения океанской волны, порожденной землетрясением. Буквально это слово означает волну в заливе или гавани, и в основе этого названия лежит тот факт, что цунами становится большой волной на поверхности воды, лишь когда входит в залив или гавань (в открытом море цунами практически незаметно). Для обозначения цунами можно также использовать точный описательный термин «сейсмическая морская волна». А вот термин «приливная волна», часто встречающийся в газетных сообщениях, очевидно, неверен, поскольку цунами никак не связаны с приливами, вызываемыми притяжением Луны и Солнца. Во избежание недоразумений термин «приливная волна» должен быть сохранен для волн, действительно порождаемых приливами (как, например, знаменитые волны в заливе Фанди, Канада).

## Причины цунами

Большинство крупных цунами возникает при землетрясении из-за внезапного вертикального смещения морского дна. Такие смещения возникают в зонах субдукции, когда одна из литосферных плит (обычно океаническая) погружается в глубь Земли, поддвигаясь под соседнюю

плиту. На карте мира (рис. 2.1) показаны основные зоны субдукции, располагающиеся по периферии Тихого океана. Зубцы вдоль границ плит указывают направления движения поддвигающихся плит. Например, вдоль Алеутских островов Тихоокеанская плита погружается под плиту, лежащую севернее (эта плита — часть Северо-Американской), а у берегов Южной Америки плита Наска опускается под Южно-Американскую плиту. В тех местах, где плита опускается, возникают глубоководный океанический желоб и цепь вулканических гор (на континенте) или гряда вулканических островов (в океане). Для жителей северной Калифорнии, штатов Орегон, Вашингтон и пров. Британская Колумбия особый интерес представляет небольшая плита Хуан-де-Фука, которая подталкивается на восток и пододвигается под Северо-Американскую плиту. Этот процесс считают причиной вулканической активности Каскадных гор, в том числе горы Сент-Хеленс.

Напряжения, нарастающие между погружающейся и вышележащей плитами, высвобождаются в момент внезапного проскальзывания плит, которое и есть землетрясение. Поскольку проскальзывание приводит к направленному вверх смещению морского дна, оно тем самым вызывает воздымание вышележащей толщи воды. Когда большой объем воды внезапно поднимается, в этом месте возникают и расходятся во все стороны большие поверхностные волны. Если такие волны обрушиваются на близлежащие берега, как это было на острове Ченегга, то цунами называют *местными*. Такие местные цунами вызывают множество жертв на берегах Японии, Филиппин, Южной Америки и восточного Средиземноморья.

Внезапный подъем океанического дна создает также серию подводных волн, которые пересекают океан с большой скоростью. Это не обычные морские волны, которые можно видеть на поверхности воды; они скорее похожи на звуковые или ударные волны, идущие сквозь воду. Волновой фронт проходит от поверхности океана сквозь всю его толщу до дна. Такие цунами распространяются с очень большой скоростью, часто 600–800 км/ч<sup>\*)</sup>. В Кресент-Сити опустошение принесли именно такие *удаленные* цунами. Когда цунами приближается к берегу, его энергия концентрируется на все уменьшающемся (из-за уменьшения глубины океана) фронте. При этом цунами порождает поверхностную волну, которая обрушивается на берег гигантским буруном, а в узких заливах образует водяной вал, или *бор*. Бор представляет собой несущуюся водяную стену с высоким крутым передним краем. Когда бор налетает на берег, его удар подобен действию огромного буруна. В Хило, на Гавайских островах, в 1960 г. наблюдатели сообщали, что вызванный чилийским цунами бор, ворвавшийся в гавань, ревел, как приближающийся товарный поезд.

---

<sup>\*)</sup> Звуковая волна распространяется в воде со скоростью более 5000 км/ч. При цунами в океане образуется не звуковая волна, а очень длинная поверхностная волна, распространяющаяся со скоростью сотен километров в час, и тем быстрее, чем глубже океан. — *Прим. перев.*

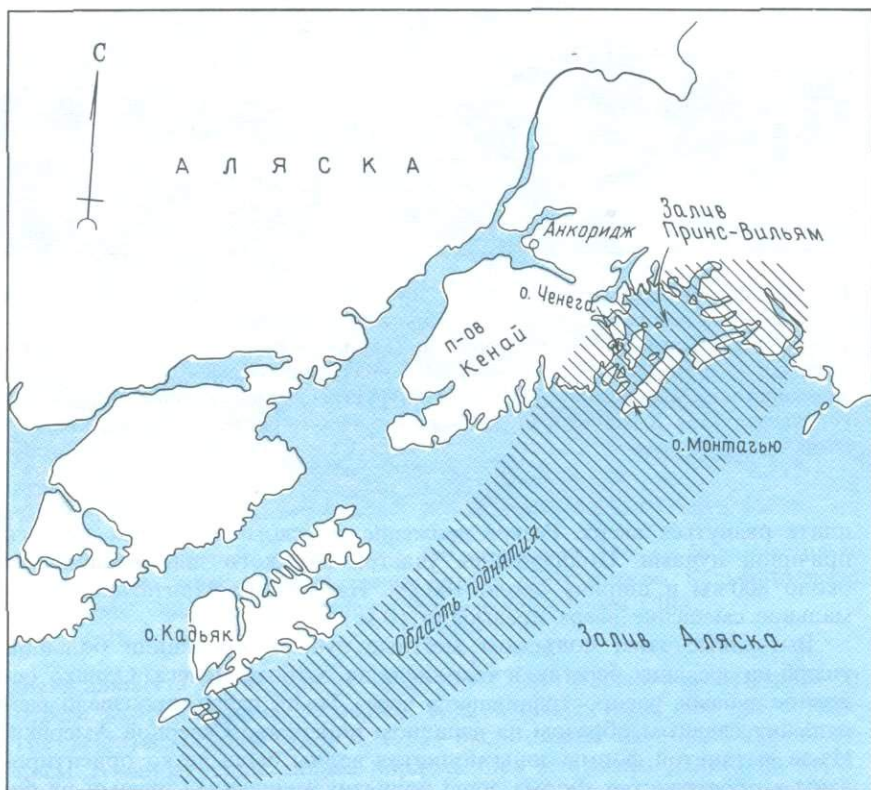


Рис. 4.1. Область поднятия дна при катастрофическом Аляскинском землетрясении 1964 г. (магнитуда 8,4). Дно океана поднялось в зоне длиной 800 км и шириной 100 км. Берег острова Монтэгу поднялся более чем на 10 м. Цунами распространилось из зоны поднятия во все стороны, однако главное направление было перпендикулярным большой оси области поднятия (т.е. на юго-восток, в направлении Кресент-Сити и берегов шт. Орегон и северной Калифорнии).

Детальные исследования, проведенные после Аляскинского землетрясения 1964 г., позволили уточнить механизм образования цунами. Изменение уровня морского дна в зоне поднятия удалось наблюдать и измерить в сотнях пунктов — прежде всего потому, что поднятие произошло в районе многих островов (рис. 4.1), на каждом из которых можно было провести измерения. Механизм иллюстрируется на разрезе (рис. 4.2), где видно, как Тихоокеанская плита пододвигается под континентальную. Ее движение создает давление на континентальную плиту как к северу (стрелка *A*), так и вниз (стрелка *B*). Вблизи зоны контакта между плитами давление на поверхность континентальной плиты стремится загнуть плиту книзу. Когда произошло землетрясение 1964 г., две плиты начали скользить вдоль своего контакта, что позволило верхней



Рис. 4.2. Разрез литосферных плит к югу от Аляски. Тихоокеанская плита пододвигается под континентальную, порождая землетрясения вдоль зоны контакта (зоны Беньофа). Опускающаяся Тихоокеанская плита толкает континентальную плиту на север (стрелка А) и вниз (стрелка В). Когда произошло Аляскинское землетрясение 1964 г., в результате высвобождения деформации континентальная плита отпрянула вверх, подняв морское дно и породив цунами.

плите рвануться вверх. Резкое движение морского дна вверх явилось причиной цунами. Поднявшийся участок морского дна имел длину около 800 км и ширину около 100 км. На острове Монтагью максимальное смещение вверх превысило 10 м.

Вызванные этим подъемом местные цунами причинили большой ущерб на соседних берегах, в том числе на острове Ченег. Однако основное цунами, распространившееся через Тихий океан, произвело разрушения главным образом на западном побережье Северной Америки. Из-за вытянутой формы зоны поднятия волны были четко ориентированы в пространстве. Форма зоны поднятия «нацелила» цунами на берега Канады и США, и это объясняет, почему большое цунами было именно здесь, а берега Японии и Гавайских островов не понесли заметного ущерба. Напротив, землетрясения, происходящие западнее, на Алеутских островах, обычно порождают цунами, идущие прямо на Гавайские острова и Японию и слабо сказывающиеся на побережье Северной Америки.

О том, как зарождается цунами, мы узнали лишь в последние десятилетия, хотя уже Чарльз Дарвин был весьма близок к пониманию его причин, когда он ощущал катастрофическое землетрясение 20 февраля 1835 г. в Консепсьоне (Чили) во время своего путешествия на «Бигле». Вот как он описывал цунами, суммируя сведения, полученные от очевидцев:

«Вскоре после толчка на расстоянии трех-четырех миль была замечена огромная волна; она приближалась и в середине залива была гладкой, но вдоль берега сносила домики и деревья и рвалась вперед с неудержимой силой. Во внутренней части залива она разбилась на череду страшных белых бурунов, которые взметнулись вверх на 23 фута, выше самой высокой точки весенних приливов. Сила буруна была, должно быть, громадной, так как в форте пушка с лафетом весом четыре тонны



Цунами, порожденное Аляскинским землетрясением 1964 г., было настолько мощным, что забросило рыболовные суда в центр поселка Кадьяк (Аляска). Фото ВМС США. [С разрешения Геологической службы США.]

была вдвинута им внутрь на 15 футов. Среди развалин в 200 ярдах от берега застряла шхуна. За первой волной последовали еще две, и многие разбитые остовы судов и лодок были смыты их обратным движением. В одном конце залива корабль был выброшен далеко на берег, затем смыт, снова выброшен на берег и вновь унесен волной»<sup>\*)</sup>.

Затем Дарвин переходит к описанию смещения уровня моря и изменений высоты суши:

«Наиболее примечательным эффектом этого землетрясения было устойчивое поднятие суши; вероятно, было бы правильнее говорить об этом как о причине. Не может быть сомнений в том, что вся местность вокруг залива Консепсьон поднялась на два-три фута... На острове Санта-Мария поднятие было еще бóльшим; здесь на берегу, на высоте десяти футов над отметкой самой высокой воды капитан Фицрой нашел еще держащиеся на скале сгнившие раковины мидий».

Таким образом, Дарвин уже знал, что землетрясение сопровождалось подъемом суши вдоль побережья Чили, и это позволило ему высказать свои идеи о причинах роста гор: «Вряд ли можно сомневаться в том, что эти грандиозные высоты в большой степени есть результат последовательных небольших поднятий, подобных тому, которое в этом году сопровождало землетрясение или было его причиной».

<sup>\*)</sup> 1 миля  $\approx$  1,6 км, 1 фут  $\approx$  0,3 м, 1 ярд  $\approx$  0,9 м.

### Что надо знать о цунами

Большинство цунами вызывается землетрясениями, которые происходят под дном океана, чаще всего по периферии Тихого океана. К потенциально опасным относятся пониженные участки вдоль берегов, в заливах и гаванях с высотой менее 15 м над уровнем моря при цунами удаленного происхождения и менее 30 м при местных цунами.

– Цунами – не единичная волна, а серия из нескольких волн. Следовательно, оставайтесь вдали от опасной зоны (гавани, залива, устья реки или берега моря), пока не пройдут все волны; это может продолжаться несколько часов.

– Размеры волн нельзя предсказать. В одном месте они могут быть небольшими, а где-нибудь в другом – гигантскими. Всякие цунами потенциально опасны.

– Будьте внимательны к предупреждениям о цунами при удаленных землетрясениях. В Хило (Гавайи) в 1960 г. погиб 61 человек и несколько сотен было ранено, хотя предупреждение было дано за 10 ч до прихода первой волны.

– Любое землетрясение, происшедшее в море у берега, может вызвать местное цунами. Если вы ощутили такое землетрясение, немедленно уходите с берега. Более 100 человек погибло в Японии в мае 1983 г., когда цунами обрушилось на северо-западное побережье острова Хонсю, хотя каждый в округе ощутил землетрясение и должен был остеречься, получив предупреждение.

– О приближении цунами может возвестить заметный подъем или спад уровня воды вдоль береговой линии. Такой сигнал всегда должен служить предостережением.

– Никогда не спускайтесь к морю, чтобы поглазеть на цунами. Когда вы увидите приближающуюся волну, спастись будет уже поздно.

Тектонические смещения морского дна – не единственная геологическая причина, вызывающая цунами. Не менее драматичны вулканические извержения, как, например, извержение Кракатау 27 августа 1883 г. Извержение на этом вулканическом острове, расположенном в проливе Сунда между Явой и Суматрой, произошло с таким колоссальным взрывом, что пепел, заброшенный в атмосферу, распространился вокруг всей Земли, и повсюду месяцами наблюдались багровые закаты. Образовавшиеся при этом огромные цунами наблюдались в гаванях всего мира и уничтожили в общей сложности 5000 кораблей. От цунами и извержения погибло 36 000 человек. Едва ли не еще более сильное извержение произошло на вулканическом острове Санторин (или Тира) в Эгейском море; археологи датируют это извержение примерно 1450 г. до н.э. При этом возникли цунами, причинившие большой ущерб всему



Волна цунами при Аляскинском землетрясении 1964 г. была так сильна, что в Уиттиере (Аляска) она проткнула этой доской автомобильную шину. [Фото с разрешения Геологической службы США.]

восточному побережью Средиземноморья. Подводный оползень также может вызвать цунами, но такие оползни происходят редко, и их местные последствия бывают небольшими.

## Как распространяется цунами

Цунами распространяется совсем не так, как обычные волны на поверхности, которые мы видим в океане. Уже говорилось о том, что оно распространяется не по поверхности, а, подобно звуковой волне, проходит сквозь толщу океана, и его волновой фронт протягивается от поверхности до морского дна.

Скорость цунами исключительно велика; например, цунами в Тихом океане обычно бежит со скоростью 600–800 км/ч, хотя наблюдались и более высокие скорости. Скорость цунами в открытом океане зависит прежде всего от глубины воды, хотя на нее могут влиять и другие факторы. На глубокой воде скорость  $s$  примерно равна корню квадратному из произведения ускорения силы тяжести  $g$  на глубину океана  $d$  и выражается формулой

$$s = \sqrt{gd}.$$

Эта формула показывает, что, чем глубже океан, тем выше скорость. Но даже несмотря на такую скорость, цунами все же нужно несколько часов, чтобы пересечь Тихий океан (некоторые типичные времена пробега этих волн приведены в табл. 4.1). Поэтому людям, оказавшимся вблизи источника цунами, времени для предупреждения остается мало, зато его вполне достаточно для тех, кто живет на большом расстоянии.

Таблица 4.1. Времена пробега цунами в Тихом океане

От Аляски до Калифорнии	4–7 ч
От Аляски до Гавайских островов	4–6 ч
От Аляски до Японии	4–8 ч
От Чили до Гавайских островов	14–15 ч
От Чили до Японии	22–23 ч
От Японии до Гавайских островов	7–8 ч

*Примечание.* Время зависит от расположения очага землетрясения, от природы механизма возбуждения цунами и от места, где наблюдается приход цунами. Обычная скорость – от 600 до 800 км/ч.

Другое примечательное свойство цунами – большой период колебаний. Периодом волны называется интервал времени между приходом двух последовательных волн. Многие из нас хорошо знакомы с периодом обычных поверхностных морских волн; если вы станете на берегу и будете следить за набегаящими волнами, то установите, что их период обычно лежит в интервале от 5 до 15 с. Период же цунами составляет от нескольких минут до часа. Трудно заметить глазом волну такого большого периода, если вторая волна должна прийти к берегу через час после первой, однако для цунами это – обычное явление.

От того, где зародилось цунами, по-видимому, зависит период волны. Цунами, сопровождавшее Аляскинское землетрясение 1964 г., породило внезапное поднятие большой области мелководного океаническо-

го шельфа, и его главная волна имела период 1,7 ч. Такой исключительно большой период может быть связан с собственным периодом колебаний (т. е. с резонансным периодом) сравнительно широкого и неглубокого слоя воды на континентальном шельфе. Напротив, Алеутские землетрясения 1946 и 1957 гг. возникли в узком и глубоком Алеутском желобе, и их цунами имели периоды от 7 до 15 мин.

Хотя цунами распространяется сквозь толщу воды в океане, оно может создать небольшую поверхностную волну (мы говорим здесь о движении цунами в открытом море, но не у берега). Типичная высота такой волны – менее 50 см, что меньше высоты обычных ветровых морских волн. Это означает, что цунами незаметно для людей, находящихся в лодках или на кораблях. Его нельзя также увидеть с воздуха. Неутешительный вывод – нельзя убедиться в существовании цунами раньше, чем оно достигнет берега. Во время прихода цунами 1946 г. в Хило команда грузового судна, стоявшего в километре от берега, с изумлением увидела, что гигантские волны перехлестывают через крыши зданий на берегу, в то время как сами они даже не почувствовали, как волна прошла мимо их корабля.

Даже если океан совершенно спокоен и вы сидите в каноэ в середине океана, вы скорее всего не почувствуете цунами. Причина в том, что из-за своих большой длины и малой высоты волна эта очень пологая. К примеру, волна может иметь в длину 200 км, а в высоту всего 50 см; такая волна пройдет мимо вас за 15 мин, и вы ничего не будете знать о ней.

С приближением к берегу или гавани цунами полностью меняет свои свойства. Цунами преобразуется здесь в поверхностную волну, вы-



На этой фотографии, сделанной с борта «Бригэм Виктори» 1 апреля 1946 г., видно цунами, разрушающее причал в гавани Хило. [С разрешения Информационной службы NOAA.]

сота которой возрастает по мере приближения к берегу; потом оно превращается в огромный бурун, который обрушивается на сушу и заходит на довольно большое расстояние в глубь берега. По этой причине возник неправильный термин «приливная волна». При цунами 1960 г. в гавани Хило сообщалось о бурунах высотой 10 м. К сожалению, высоту водяной стены не удалось предсказать заранее<sup>\*)</sup>, поскольку она зависит от таких сложных факторов, как ориентация залива, фокусирующий эффект гавани, рельеф морского дна, резонансные эффекты в заливе или гавани (хорошо определен резонансный период для гавани Хило, равный 18 мин).

Число последовательных волн в цунами также непредсказуемо. Иногда в гавани появляется одна большая волна, но в другой раз здесь может возникнуть серия из нескольких волн (как в Кресент-Сити в 1964 г.). Из-за того что волны приходят с большими интервалами, люди могут преждевременно решить, что опасность цунами уже миновала. Чтобы оказаться в безопасности на берегу, надо подождать прихода следующей волны не меньше часа (для удаленных цунами). Если волна не придет, можно, пожалуй, вернуться в зону действия цунами.

Иногда первым заметным признаком приближающегося цунами бывает понижение уровня воды у берега. Рассказывают о людях, которые пускались собирать рыбу на обнажившемся дне и были унесены набегавшим цунами. Вообще поведение цунами не бывает всегда одинаковым; часто оно начинается с опускания уровня моря, но столь же часто может начаться с подъема воды.

## Гавань Хило

Город Хило, второй по величине на Гавайских островах, особенно подвержен воздействиям цунами, так как лежит на пути волн, возбужденных как в Алеутской, так и в Перуанско-Чилийской зонах субдукции. Вдобавок рельеф дна в самой гавани и вокруг нее идеален для того, чтобы вызвать значительное увеличение высоты поверхностных волн. Гавань имеет форму римской цифры V, обращенной узким концом к центральной части города, а глубина моря по направлению к берегу постепенно уменьшается; таким образом, гавань суживается, как воронка, и в горизонтальном, и в вертикальном направлениях.

Неудивительно, что гавань Хило дважды за последние десятилетия сильно пострадала от цунами. 1 апреля 1946 г. цунами, зародившееся на Алеутских островах, пройдя 3800 км со скоростью 780 км/ч, пятью часами позже ворвалось в гавань Хило. Волны обрушились на набережную, разрушая постройки, причалы, корабли и автомобили. Даже волнолом в Хило был сорван почти по всей своей длине. Только в Хило погибло 96 человек, а всего на Гавайях – 173. В попытке противостоять будущим катастрофам городские власти создали вокруг гавани защитную зону,

<sup>\*)</sup> В СССР составлены карты прогноза высоты возможных цунами. – *Прим. перев.*



Жители спасаются от набегающего цунами в Хило (Гавайи) 1 апреля 1946 г. Волну можно видеть по ломающимся пальмам на дальнем плане. Землетрясение произошло пятью часами раньше на Алеутских островах. [С разрешения Объединения по исследованию цунами.]

разбив там неширокий парк и проведя дорогу. К сожалению, эта зона оказалась слишком узкой, и в некоторых частях цунамиопасной зоны была вновь разрешена застройка. Через 14 лет разразилось новое цунами с аналогичными последствиями.

На этот раз цунами образовалось в Чили 22 мая 1960 г. и пришло в Хило после полуночи, спустя 15 ч после землетрясения. Цунами пробежало 10 500 км со средней скоростью 700 км/ч. Самая большая волна поднялась на высоту 12 м, перемахнула через мол высотой 3 м и ворвалась в центр города. Часть города была полностью уничтожена, 61 человек погиб, и много людей было ранено. Вот свидетельство очевидца о приходе третьей волны:

«Сперва был слышен только гул, подобный грохоту далекого поезда. Он доносился из темноты со стороны устья залива. В 1 ч 02 мин после полуночи все услышали страшный рев, раздававшийся в ночи все ближе и ближе. Пока мы пытались разглядеть источник этого зловещего шума, в брезжащих отсветах, брошенных на воду огнями Хило, появилась мутная стена падающей воды, дробящийся гребень третьей волны... В 1 ч 04 мин почти вертикальный шестиметровый вал вспененной воды прогрохотал мимо нас, и мы отбежали на несколько десятков метров к безопасному месту. Обернувшись, мы увидели, как вода затопляет залив... За несущим разрушения фронтом волны в темноте в затопленном городе слышались глухой скрип зданий, сбитых волнами, и скрежетанье сломанных опор электропередач... В 2 ч 15 мин высота волн, достигавших входа в залив, заметно уменьшилась, и стало возможным без опаски спуститься в Хило для оценки разрушений.



Деловой район на Камеамеа-Авеню в Хило (Гавайи), разрушенный цунами 1946 г. Фото из частного собрания Магун. [С разрешения Информационной службы NOAA.]

Толстый слой скользкого ила покрывал улицы, повсюду валялась рыба, оглушенная швырявшей ее волной. Сточные воды, сбрасываемые у входа в гавань, были подхвачены первыми двумя волнами, а третья волна выбросила их прямо в город, заполнив улицы невыносимым зловонием... Склады в квартале к северу от Хейли-Стрит были разбиты волнами, которые смыли их содержимое и разбросали его в беспорядке по улицам... Ряд складов, располагавшихся вдоль западной стороны Камеамеа-Авеню, просто исчез... На улицах валялись большие валуны и разбитые машины. Напротив Кау-Пэлис четыре человека показались в окне второго этажа одного из немногих зданий, уцелевших на этой улице. Нижний этаж этого дома был словно выпотрошен, а лестницы унесены. С помощью шестов, выловленных в куче хлама, мы помогли этим оцепеневшим людям, оставшимся в живых, спуститься на землю\*).

После этой второй катастрофы восстановление и строительство зданий в зоне затопления было запрещено. Вместо этого здесь вдоль набережных был разбит парк, украсивший город и создавший защитную зону между берегом и полосой застройки.

\* Eaton J. P., Richter D. H. and Ault W. U. The tsunami of May 23, 1960, on the Island of Hawaii. Bulletin of the Seismological Society of America, 51, No. 2, April 1961, p. 135-157.

## Местные цунами на Гавайях

Население «Большого острова» Гавайи, известного своей геологической активностью, хорошо знакомо с вулканическими извержениями, потоками лавы и землетрясениями, особенно на юго-восточном берегу, на склонах Килауэа. 29 ноября 1975 г. в 3 ч 36 мин ночи по местному времени жителей этого района разбудило землетрясение с магнитудой 5,7; были разбужены и 32 человека, расположившиеся лагерем на берегу в Халапе, в 30 км к западу от Калапаны. Несколько туристов поднялись и ушли с берега, остальные снова улеглись спать. В 4 ч 48 мин произошел главный толчок – землетрясение с магнитудой 7,2. Туристы рассказывали, что от сильных сотрясений они не могли удержаться на ногах. Через минуту они увидели, что море поднимается и превращается в волну, набегающую на сушу. В одну секунду большая волна смыла деревья, камни и людей в глубокую расщелину (глубиной 5–7 м), в которой люди беспомощно барахтались, «как в стиральной машине», по словам одного из уцелевших. Один человек умер – захлебнулся или погиб от ударов, один был унесен в море и, вероятно, погиб, еще 19 получили травмы. Волна с максимальной высотой 12 м зашла на 100 м в глубь суши. Берег при этом также сдвинулся на 6 м в море и опустился на 3,5 м, так что роща кокосовых пальм стоит теперь в море.

Разрушения не ограничились районом лагеря Халапе. В близлежащих поселках были разрушены дома, повреждены причалы, перевернуты автомобили. В течение следующих двух недель ощущалось много афтершоков, и этим же землетрясением было спровоцировано небольшое извержение вулкана Килауэа.

## Как уменьшить ущерб от цунами

Ущерб при цунами создают волны и буруны, прорывающиеся в гавань и обрушивающиеся на сушу. Можно выделить следующие виды ущерба:

- затопление вследствие быстрого подъема уровня воды;
- динамические нагрузки на сооружения, создаваемые движущейся водой, в особенности водяными валами (бором);
- удары плавающими обломками, когда вода швыряет обломки в здания и другие объекты;
- размыв почвы у фундаментов от быстро текущей воды;
- повреждения пришвартованных судов волнами, изменениями уровня воды и ударами о причалы.

Хотя волноломы, воздвигнутые для остановки обычных волн, и служат некоторой защитой от цунами, большие волны все же могут обогнуть или даже перехлестнуть их. Залив Сан-Франциско защищен от цунами своим узким устьем.

Чтобы предотвратить разрушения зданий и сооружений, лучше всего, конечно, строить их в местах, расположенных вне зон, подверженных цунами. Если это невыполнимо, сооружения можно сделать устойчивы-

ми против некоторых эффектов цунами. Например, здание может быть расположено своей длинной стороной вдоль пути цунами, при этом удару подвергнется меньшая часть здания и будет обеспечена наибольшая прочность (вдоль оси здания) при сопротивлении ударной силе. Желательно также выполнить первый этаж здания как можно более «открытым», используя лишь легкие перегородки между главными колоннами. Тогда цунами может проскользнуть сквозь первый этаж, вырвав перегородки и унеся обстановку, однако причинив минимальные повреждения самому зданию. На Гавайских островах такой прием используется при строительстве как приморских отелей, так и жилых домов. Здесь можно встретить дома, возведенные на высоких столбах, у которых пространство на уровне земли полностью открыто (используется для стоянки автомобилей), а первый жилой этаж поднят над землей на 3 м.

### Системы предупреждения о цунами

Системы непрерывного слежения за землетрясениями сейчас так хорошо развиты в мире, что сейсмологи немедленно узнают о любом землетрясении, если оно произошло в таком месте, где прежде возникали цунами. Будет цунами на самом деле возбуждено на этот раз или нет, остается неясным до тех пор, пока оно не ударит о берег вблизи очага землетрясения или в каком-либо отдаленном месте. Поэтому каждый, кто находится в прибрежной зоне, в особенности на Аляске, в Японии или на западе Южной Америки, должен, почувствовав землетрясение, немедленно покинуть берег. Однако в случае, когда цунами приходит, пересекая Тихий океан, для принятия мер есть несколько часов.

Идея создания официальной системы оповещения о цунами в Тихом океане возникла у сотрудников Береговой и геодезической службы США после цунами 1946 г., которое нанесло такой большой ущерб Гавайским островам. Первоначально предназначенная только для этих островов, система в дальнейшем разрослась и превратилась в систему предупреждения для всего Тихого океана. Сегодня Тихоокеанская система предупреждения о цунами (PTWS) расположена в Обсерватории Гонолулу и входит в Национальное управление по океану и атмосфере (NOAA), заменившее в 1970 г. Береговую и геодезическую службу США. Сейсмические станции и пункты измерения приливов (мареографические станции) расположены на островах по периферии Тихого океана и шлют свои сообщения непосредственно на станцию Гонолулу. В дополнение к ним разработан новый тип датчиков давления, служащих для выявления цунами в открытом море. Эти установки могут оказаться полезными для обнаружения цунами прежде, чем оно достигнет берегов.

Когда где-либо на окраинах Тихого океана происходит землетрясение, система предупреждения приходит в действие. Если землетрясение имеет достаточно большую магнитуду и возникло там, где оно может породить цунами, выпускается сигнал «Возможно цунами». Он оповещает станции о том, что существует возможность цунами. По известно-

му времени пробега цунами каждая станция оценивает время его возможного прихода. Ближайшая к очагу землетрясения станция сторожит приход волн. Когда поступает информация о том, что цунами действительно существует, во все районы, которые могут быть захвачены цунами, посылается сигнал «Идет цунами» с указанием возможного времени прихода волны. Распространение цунами контролируется, предупреждения уточняются и повторяются по мере поступления новой информации. Жители береговых районов оповещаются местной администрацией, а иногда следует распоряжение об эвакуации.

То, что произошло в 1964 г. в Кресент-Сити, позволяет проследить, как работает система предупреждения. (Этот случай показал также, как мало люди знают о цунами.) Землетрясение Страстной пятницы произошло на Аляске 27 марта 1964 г. в 17 ч 36 мин по местному времени и было зарегистрировано сейсмическими станциями всего мира. Немедленно была установлена возможность цунами, и станция Гонолулу разослала предупредительные сообщения. В 19 ч 55 мин станция Кадьяк на Аляске сообщила, что в 18 ч 35 мин прошла сейсмическая морская волна высотой 3-4 м над средним уровнем моря. Существование цунами подтвердилось, и станция Гонолулу выпустила предупреждение о том, что цунами «распространяется по Тихому океану». Ожидаемое время прихода волны в Оаху было 23 ч 00 мин, т.е. примерно спустя 5,5 ч. после землетрясения. В 21 ч 08 мин станция Кадьяк сообщила, что в 18 ч 40 мин прошла 10-метровая волна, а в 20 ч 30 мин – 12-метровая.

В Кресент-Сити жители низменной части города были оповещены полицией и эвакуированы. Первая волна пришла в Кресент-Сити в 23 ч 39 мин по местному калифорнийскому времени (которое на два часа опережает местное аляскинское время), примерно через 4 ч после землетрясения. Вторая волна пришла в 0 ч 30 мин, еще одна – в 0 ч 45 мин и сильнейшая – в 1 ч 40 мин пополуночи. После первых двух волн, вызвавших лишь небольшое затопление, часть жителей вернулась в свои дома; третья и четвертая волны поглотили некоторых из них и причинили наибольшие повреждения. На Гавайских островах и в Японии ущерб был относительно невелик из-за эффекта направленности цунами. Цунами достигло Японии за 7 ч, Кваджелейна – за 10 ч и Перу – за 15,5 ч. После того как цунами прошло, станция Гонолулу распространила сообщение о том, что опасность миновала.

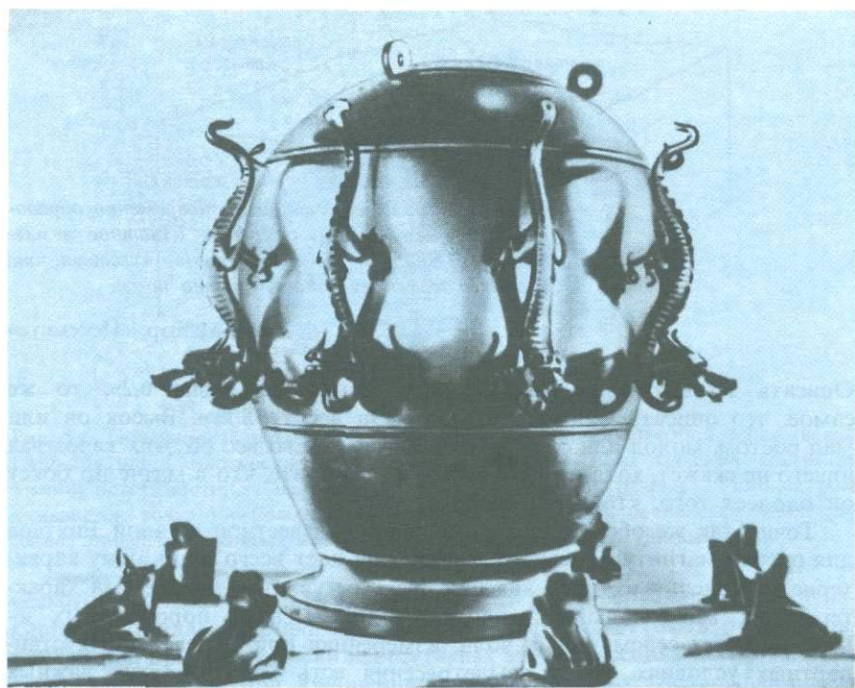
Таблица 4.2. Некоторые крупнейшие цунами

Дата	Причина и место зарождения	Примечания
Примерно 1450 г. до н.э.	Вулканическое извержение на о. Санторин (Тира) в Эгейском море	Сильное извержение вулкана Санторин уничтожило остров. Огромное цунами поразило берега восточного Средиземноморья, неся смерть и разрушения

Дата	Причина и место зарождения	Примечания
21 июля 365 г. н. э.	Сильное землетрясение в восточной части Средиземноморья (50 000 погибших)	В Александрии цунами смыло 5000 человек
1 нояб. 1755 г.	Землетрясение с магнитудой 8,6 в океане недалеко от Лиссабона, Португалия (60 000 погибших)	Несколько больших волн нахлынули на побережья Португалии, Испании и Марокко. В Лиссабоне цунами причинило большие разрушения и вызвало гибель многих людей
20 февр. 1835 г.	Землетрясение с магнитудой 8,5 у берегов Чили, недалеко от Консепсьона	Разрушительное цунами, описанное Ч. Дарвином, ощущавшим это землетрясение во время путешествия на «Бигле»
2 апр. 1868 г.	Вулканическое извержение с магнитудой 7,7 на о. Гавайи (южный склон горы Мауна-Лоа)	Местное цунами разрушило много домов и погубило 46 человек
13 авг. 1868 г.	Землетрясение с магнитудой 8,5 в Перу и Чили, в береговой зоне близ Арики (25 000 погибших)	Несколько больших волн опустошили Арику (ранее – в Перу, теперь – в Чили). Разрушения на Гавайских островах
27 авг. 1883 г.	Вулканическое извержение на о. Кракатау, в Зондском проливе между о-вами Ява и Суматра (36 000 погибших)	Сильнейший взрыв вулкана Кракатау. Огромное цунами, отмеченное во многих гаванях мира. Цунами вызвало большие повреждения и жертвы на соседних островах
15 июня 1896 г.	Землетрясение с магнитудой 7,5 в Японии, у побережья Санрику (27 000 погибших)	Множество селений полностью разрушено волнами цунами; максимальная высота волн 15 м. Утонуло много людей
11 окт. 1918 г.	Землетрясение с магнитудой 7,5 у западных берегов Пуэрто-Рико, под прол. Мона (116 погибших)	Цунами вызвало разрушения и гибель 40 человек
1 сент. 1923 г.	Землетрясение с магнитудой 8,3 в Токио и его окрестностях (99 300 погибших)	Известно как землетрясение Канто (эпицентр лежит на равнине Канто). Огромные разрушения на большой площади, включая Токио и Иокогаму; большие пожары в Токио. Цунами в зал. Са-

Дата	Причина и место зарождения	Примечания
3 марта 1933 г.	Землетрясение с магнитудой 8,9 в Японии у побережья Санрику (3000 погибших)	Огромные разрушения и множество жертв из-за цунами; высота волн достигала 24 м
7 дек. 1944 г.	Землетрясение с магнитудой 8,3 у южного берега преф. Вакаяма, Япония (1000 погибших)	Известно как Тонанкайское землетрясение. Большое цунами вдоль берегов от о. Сикоку до Сидзуоки
28 нояб. 1945 г.	Землетрясение с магнитудой 8,3 у берегов Пакистана (4100 погибших)	Цунами обрушилось на берег
1 апр. 1946 г.	Землетрясение с магнитудой 7,5 на Алеутских о-вах, в Алеутском желобе к югу от о. Уникама (173 погибших)	Большие разрушения и 96 погибших в Хило, Гавайи; небольшие повреждения в Калифорнии (в Санта-Круссе погиб 1 человек)
21 дек. 1946 г.	Землетрясение с магнитудой 8,4 у юго-восточного побережья о. Сикоку, Япония (1360 погибших)	Известно как Нанкайское землетрясение. Огромное цунами вызвало большие убытки и жертвы вдоль южного берега о. Сикоку и п-ова Кии
4 марта 1952 г.	Землетрясение с магнитудой 8,3 у юго-восточного побережья о. Хоккайдо (Япония) (погиб 31 человек)	Известно как землетрясение Токати-Оки. Цунами обрушилось на берега
9 июля 1956 г.	Землетрясение с магнитудой 7,8 на о-вах Додеканес в Греции (погибло 53 человека)	Цунами обрушилось на берег
22 мая 1960 г.	Землетрясение с магнитудой 8,5 в Чили, пров. Арауко, с очагом на континентальном шельфе, недалеко от берега южнее Консепсьона (2230 погибших)	Цунами причинило большой ущерб в Хило (погиб 61 человек) и в Японии (120 погибших). На побережье Санрику в Японии волны высотой 5 м. В Чили местное цунами
27 марта 1964 г.	Землетрясение с магнитудой 8,4 в зал. Аляска (погиб 131 человек)	Известно как землетрясение Страстной пятницы. Цунами вызвало большие разрушения на берегах и в морских портах Аляски; много погиб-

Дата	Причина и место зарождения	Примечания
		ших, в том числе 23 на о. Ченегга. Повреждения в портах Британской Колумбии, в штатах Вашингтон, Орегон и Калифорния (особенно в Кресент-Сити, где погибло 11 человек)
16 июня 1964 г.	Землетрясение с магнитудой 7,5 в Ниигате, Япония (26 погибших)	Большое цунами вызвало затопление берегов
16 мая 1968 г.	Землетрясение с магнитудой 8,6 в Японии, в море у берегов к востоку от Хатинохе (48 погибших)	Известно как второе землетрясение Токати-Оки. Цунами разрушило многие здания и портовые сооружения в Хатинохе и Хакодате
29 нояб. 1975 г.	Землетрясение с магнитудой 7,2 на юго-восточном берегу о. Гавайи	Местное цунами. Тяжелые разрушения в окрестностях Калапаны и Ханане; двое погибших в результате цунами
17 авг. 1976 г.	Землетрясение с магнитудой 8,0 на Филиппинских о-вах в зал. Моро (6500 погибших)	Цунами вызвало большие разрушения и гибель многих людей
19 авг. 1977 г.	Землетрясение с магнитудой 8,0 в Индонезии, к югу от о. Сумбава (189 погибших)	Цунами разрушило несколько селений
12 дек. 1979 г.	Землетрясение с магнитудой 7,9 у берегов Колумбии (600 погибших)	Цунами вызвало много повреждений и жертв
25 мая 1983 г.	Землетрясение с магнитудой 7,7 в Японии с очагом в Японском море, к западу от о. Хонсю (106 погибших)	Цунами обрушилось на побережье вблизи Акиты и погубило 105 человек



Первое известное устройство для обнаружения землетрясения. Знаменитый китайский ученый Чжан Хэн создал его в Сиане в 132 г. во времена династии Хань. В большом сосуде (диаметром 180 см) он поместил маятник, который мог качаться в восьми направлениях. Восемь драконов, каждый с шариком в пасти, были укреплены на сосуде вокруг него. Когда толчок землетрясения заставлял маятник качнуться, шарик выпадал из пасти дракона и попадал в открытый рот сидящей внизу жабы. В этот момент прибор издавал звук, извещая наблюдателей, что произошло землетрясение. Замечая, в рот какой из жаб попал шарик, они могли определить, в каком направлении оно произошло. Прибор Чжан Хэна работал так хорошо, что мог обнаруживать удаленные землетрясения, не ощущавшиеся самими наблюдателями. Оригинал этого устройства давно утерян, однако приехавшие в Сиань могут видеть эту уменьшенную его копию.

## Как измерить землетрясение и его эффекты

*Я выбежал из своей хижины, одновременно обрадованный и испуганный, с криком «Знатное землетрясение! Знатное землетрясение!» — чувствуя, что в самом деле могу узнать что-то новое.*

Джон Мьюэр. «Йосемите»

Описать землетрясение, сказав: «Его магнитуда равна 6,2», — то же самое, что описать человека, сказав: «Он весит 75 кг». Высок он или мал ростом, молод или стар, красив или нет? Его вес об этих качествах ничего не скажет, хотя вы, возможно, и поспорите, что в матче по боксу он одолеет того, кто весит 64 кг.

Точно так же обстоит дело и с хорошо известной шкалой Рихтера для оценки магнитуды землетрясений: она дает всего лишь одну характеристику очень сложного явления. Как мы увидим дальше, эта характеристика — максимальная амплитуда, или «высота», порожденных землетрясением сейсмических волн, измеренная при определенных стандартных условиях. Но у землетрясения есть много других важных характеристик. Как долго длятся сильные колебания? Какой была площадь вспоровшейся части разлома? На какой глубине под земной поверхностью произошло землетрясение? Мы почти ничего не узнаем о том, что случилось во время землетрясения, если будем знать только его магнитуду, как мы не можем судить о характере человека, его личности и внешности по одному только его весу. Тем не менее шкала магнитуд дает нам удобный способ сравнивать землетрясения между собой по их величине.

Сейсмологи используют несколько шкал магнитуд, но, поскольку среди них наиболее известна шкала Рихтера, мы объясним, как построена эта шкала и что она означает. Для этого нам понадобятся некоторые основополагающие сведения о механизме землетрясения, сейсмических волнах и приборах, их регистрирующих.

### Механизм землетрясения

Как уже говорилось в гл. 2, землетрясение происходит, когда в породах, слагающих земную кору, в результате нарастания избыточного напряжения, которое в свою очередь обычно является следствием движения литосферных плит, образуется разрыв. Разрыв происходит по неровной области вдоль более или менее плоской поверхности геологи-

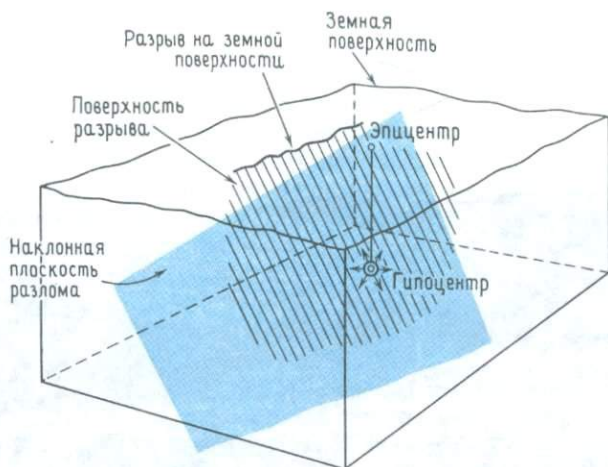


Рис. 5.1. Поверхность разрыва. Землетрясение представляет собой вспарывание трещины вдоль плоскости геологического разлома. Если трещина достигает земной поверхности, на ней образуется видимая линия разрыва. Гипоцентром называется точка на поверхности разрыва, в которой начинается землетрясение; эпицентр лежит на поверхности Земли прямо над гипоцентром.

ческого разлома (рис. 5.1), которая может быть вертикальной или наклонной. Длина вспоровшейся части разлома может быть от нескольких метров при практически неощутимых землетрясениях до нескольких сотен километров при крупнейших землетрясениях. Вспарывающаяся трещина может достичь поверхности Земли, но может и остановиться много глубже. В целом, чем больше длина вспоровшегося разлома, тем больше магнитуда землетрясения.

Как бывает и при любой поломке или срыве, землетрясение начинается в некоторой точке и затем распространяется в стороны от нее. Место, в котором начинается вспарывание, называется *гипоцентром* землетрясения, а точка на поверхности Земли точно над гипоцентром — *эпицентром*. Поэтому карта, показывающая распределение землетрясений, на самом деле есть карта их эпицентров. Расстояние от поверхности Земли до гипоцентра, называемое *глубиной очага*, может быть от нескольких километров до нескольких сотен километров. У неглубоких (мелкофокусных) землетрясений типа тех, которые происходят на разломе Сан-Андреас, глубина очага составляет от 5 до 40 км. Вдоль западного побережья Южной Америки, так же как и в других зонах субдукции, вдоль зоны Беньоффа на глубинах до 500 км происходят глубокие (глубокофокусные) землетрясения (см. рис. 2.2).

Относительное *смещение* пород по обе стороны поверхности разлома также может сильно варьировать. При слабых землетрясениях величина смещения не превышает нескольких сантиметров, однако при Сан-Францисском землетрясении 1906 г. она составила 6 м (вблизи эпи-



Сбросовый уступ, образовавшийся при Эль-Аснамском землетрясении 1980 г. в Алжире. Фото авторов.

центра, расположенного в округе Мэрин к северу от Сан-Франциско). При землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо (шт. Калифорния) вертикальное смещение противоположных сторон разлома было около 1 м и образовался вертикальный уступ такой высоты. При землетрясении 1954 г. в Фэрвью-Пик (шт. Невада) образовался уступ в 3 м, а при Эль-Аснамском землетрясении 1980 г. в Алжире – в 4 м высотой.

После того как при землетрясении трещина начала вспарываться, она быстро распространяется вдоль поверхности геологического разлома, высвобождая упругую энергию накопленных в горных породах деформаций (точно так же высвобождается упругая энергия растянутой резиновой ленты, когда резина рвется). Конечно, для образования всей трещины требуется определенное время, которое можно измерить (представьте себе, как разрывается пополам лист бумаги). При слабом землетрясении вспарывание заканчивается за несколько секунд, но при сильнейших землетрясениях оно длится десятки секунд. Например, при Сан-Францисском землетрясении 1906 г. прошло больше минуты, пока разлом Сан-Андреас вспоролся более чем на 200 км от гипоцентра в графстве Мэрин к югу через полуостров Сан-Франциско до точки южнее города Сан-Хуан-Баутиста. Разрыв распространился также к северу от гипоцентра. На этом примере мы видим, что источником, или оча-

гом, землетрясения является не только точка гипоцентра, но и движущийся фронт вспарывания разлома, и это объясняет, почему сильные землетрясения длятся гораздо дольше, чем слабые.

Энергия выделяется из горных пород на переднем крае трещины по мере развития процесса ее вспарывания. Большая часть выделившейся упругой энергии расходуется на разламывание и дробление пород, на вертикальное и горизонтальное смещение примыкающих блоков земной коры и на образование тепла. Небольшая часть энергии излучается во всех направлениях в окружающее пространство в виде *сейсмических волн*, которые распространяются в теле Земли. Когда волны достигают земной поверхности, они порождают те колебания почвы, которые мы воспринимаем как землетрясение. Поскольку волны порождаются движущимся краем трещины, а не излучаются в точке и поскольку они могут поворачивать и отражаться при своем распространении в недрах Земли, они приходят к нам в разное время и с разных направлений. В результате запись сейсмических волн представляет собой набор из многих отдельных волн.

### Сейсмические волны

«Вначале я почувствовал резкий удар и на секунду потерял равновесие. После этого почувствовалось движение почвы, а потом – второй, более сильный удар. После нескольких секунд тряски начались покачивания и колыхания, словно в лодке на волнах. Покачивание длилось, пока не кончилось землетрясение. Все это время раздавался гул».

Это подлинное описание ощущений, испытанных человеком при землетрясении умеренной силы. Движения почвы, ощущавшиеся наблюдателем, были вызваны волнами разного типа, прошедшими в точку, где он находился. Существуют два основных типа сейсмических волн – *объемные волны*, распространяющиеся в объеме (или теле) Земли и подобные звуковым волнам, и *поверхностные волны*, идущие вдоль земной поверхности, подобно морским волнам. Два последовательных удара были вызваны приходом объемных волн двух разных типов, а следовавшие после этого качания производились поверхностными волнами.

Объемные волны образуются непосредственно при вспарывании пород. Они излучаются в окружающую среду во всех направлениях, ослабевая по мере удаления от источника (рис. 5.2). Когда сейсмические волны сталкиваются с резким изменением свойств вещества в Земле или достигают ее поверхности, они отражаются и преломляются, образуя объемные волны нескольких типов. Однако два основных типа объемных волн – это волны *P* (от латинского *primae* – первые) и *S* (*secondae* – вторые). Волны *P*, бегущие быстрее волн *S*, приходят в точку наблюдения первыми и вызывают там первый толчок, сигнализирующий о том, что произошло землетрясение. Волны *S* обычно запаздывают на несколько секунд, вызывая следующий, обычно более резкий удар.



Рис. 5.2. Сейсмические волны. Волны  $P$  и  $S$  — объемные волны, излучаемые во все стороны от места, где происходит вспарывание трещины. Первое движение, которое вы чувствуете в момент землетрясения, — это обычно приход волн  $P$ . Поверхностные волны распространяются вдоль земной поверхности, подобно волнам на воде, и обычно приходят после волн  $P$  и  $S$ .

Хотя объемные волны непрерывно разбегаются от источника, образуя сферический волновой фронт, отдельные частицы вещества Земли движутся возвратно-поступательно, заканчивая свое движение примерно там же, где они его начали. В волнах  $P$  частицы среды движутся вперед и назад вдоль направления распространения волны, поэтому для этой волны подошло бы название «тяги-толкай». Когда частицы движутся вперед-назад, они по очереди то сжимают, то растягивают вещество, совсем как в подводной звуковой волне. Наглядную модель такой волны можно сделать из проволочной пружины (рис. 5.3). Если конец пружины резко сдвинуть вправо, волна побежит направо вдоль всей пружины, хотя отдельные витки будут двигаться вперед-назад, возвращаясь к своему начальному положению. В каждый заданный момент времени какие-то части пружины сжаты, а какие-то растянуты.

Волны  $S$  совсем иные, так как в них отдельные частицы вещества колеблются перпендикулярно направлению распространения волн; по этой причине волны  $S$  часто называют поперечными (поскольку волны  $S$  создают в веществе не сжатия, а сдвиговые напряжения, их называют также сдвиговыми волнами). Наглядную модель волны  $S$  можно полу-

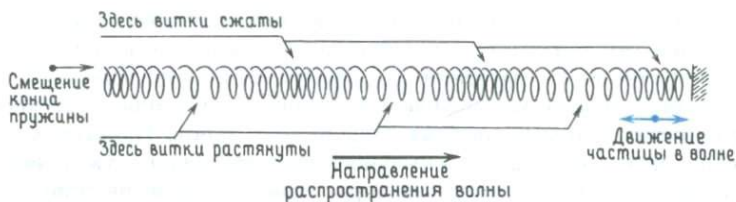


Рис. 5.3. Движение грунта при прохождении волн  $P$  похоже на движение витков пружины при резком смещении одного из ее концов. Волна распространяется вдоль пружины от одного ее конца к другому в виде чередующихся сжатий и растяжений витков. Отдельные витки смещаются только вперед-назад.

чить, встряхнув вверх-вниз горизонтально натянутую веревку (рис. 5.4). Волна побегит вправо вдоль веревки, хотя отдельные участки веревки будут двигаться только вверх-вниз перпендикулярно длине веревки.

Все части Земли – и твердые породы в земной коре, и расплавленные породы земного ядра – могут передавать сжатие; поэтому волны  $P$  могут двигаться, пересекая все тело Земли. Расплавленные части Земли не могут, однако, передавать сдвиговые напряжения, и поэтому распространение волн  $S$  ограничено твердыми частями Земли.

Поверхностные волны распространяются вдоль земной поверхности, захватывая лишь неглубокую зону под ней. В некоторых случаях разрушительные движения почвы могут вызываться этими волнами, которые распространяются с меньшей скоростью и имеют более длинные периоды (или более низкие частоты), чем объемные волны. Разные типы известны и у поверхностных волн. Два из них наиболее важны – это волны  $LR$  (Рэлея) и  $LQ$  (Лява), названные по именам исследовавших их английских ученых – лорда Рэлея и А. Э. Г. Лява. Волны Рэлея ведут себя как водяные волны, безостановочно бегущие вперед, в то время как отдельные частицы среды движутся по эллипсам в вертикальной плоскости (см. рис. 5.2). Если бросить в пруд камень, то корка или прутик, качаясь на волнах, продемонстрирует нам этот тип движения; волны, пробегая, заставляют плавающий предмет смещаться вверх-вниз и одновременно вперед-назад, но он всегда остается почти на том же месте.



Рис. 5.4. Движение грунта при прохождении волн  $S$  похоже на движение веревки при смещении ее конца вверх-вниз. Хотя волна распространяется вдоль длины веревки, отдельные частицы веревки движутся только вверх и вниз перпендикулярно направлению распространения волны.

Волны  $LQ$  также безостановочно бегут вперед, но в них отдельные частицы вещества качаются туда-сюда по горизонтали в направлении, перпендикулярном направлению распространения этих волн.

Движение, которое мы ощущаем в любой точке земной поверхности, является результатом наложения волн разных типов. Измерение этого движения – нелегкая задача, но именно такие измерения служат нам для определения магнитуды и других характеристик землетрясений.

## Сейсмографы

Приборы, которые записывают движение грунта при землетрясениях, называются *сейсмографами*. Впервые они появились лишь в 90-е годы прошлого столетия, и поэтому мы располагаем записями землетрясений только начиная с этого времени. Сейчас по всей поверхности Земли установлены сотни сейсмографов, работающих в составе мировой сети сейсмических станций, для того чтобы можно было следить за происходящими землетрясениями и изучать физические процессы в Земле. Записи сейсмографов, называемые *сейсмограммами*, используются для определения местоположения и магнитуды землетрясений.

Пример типичной сейсмограммы приведен на рис. 5.5. По горизонтальной оси отложено время в секундах, по вертикальной оси – смещение почвы, обычно измеряемое в миллиметрах. Таким образом, сейсмограмма показывает, как изменяется во времени смещение почвы. Пока нет землетрясения, на сейсмограмме чертится прямая линия, которую нарушают лишь небольшие подрагивания – отзвуки местных помех («шумы»). Чтобы регистрировать землетрясения, происходящие на расстояниях в тысячи километров от станции, приборы должны записывать движение грунта с большим увеличением – обычно в 5000–80 000 раз.

Та движущаяся составная часть сейсмографа, в которой непосредственно образуется сейсмограмма, называется *сейсмометром*. Обычно

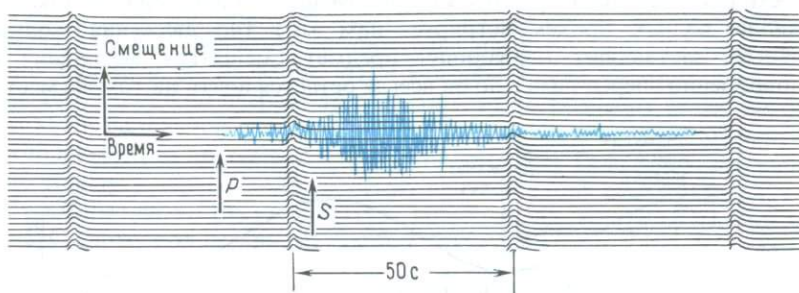


Рис. 5.5. Сейсмограмма одного из афтершоков землетрясения в Коалинге, шт. Калифорния, в мае 1983 г., полученная в Термановском инженерном центре Станфордского университета. Вступления волн  $P$  и  $S$  отмечены стрелками (вторая отстает от первой на 21 с). Расстояние от сейсмографа до эпицентра составляет 209 км.

это маятник или груз, подвешенный на пружине. В сейсмометре установлен также механизм затухания, важный для точного воспроизведения движений почвы. Движение сейсмометра преобразуется в сейсмограмму одним из следующих способов: перо оставляет чернильную линию на бумаге, надетой на вращающийся барабан; световой луч оставляет свой след на движущейся фотопленке; электромагнитная система генерирует ток, который с помощью электронного устройства записывается на магнитной ленте.

Движение грунта в любой точке происходит в трех измерениях. Это значит, что точка движется в пространстве, а не просто в плоскости или по прямой. Чтобы полностью записать такое движение, каждый сейсмограф должен состоять из трех сейсмометров, движущихся в трех взаимно перпендикулярных направлениях (двух горизонтальных и одном вертикальном) и позволяющих получать соответствующие сейсмограммы. Каждая сейсмограмма размечается в соответствии с регистрируемым направлением: «север–юг» и «восток–запад», если на них записаны горизонтальные перемещения, и «вверх–вниз», если записаны вертикальные. По трем движениям во взаимно перпендикулярных направлениях сейсмологи могут построить истинное движение грунта в пространстве.

### Определение координат очага землетрясения

Волны  $P$ ,  $S$ ,  $LR$  и  $LQ$  распространяются с разной скоростью и приходят с разных сторон; поэтому они регистрируются станцией в разное время. Опытные интерпретаторы умеют читать сейсмограммы и выделять на них первые вступления различных волн. Точное время прихода каждой волны определяется по отметкам времени, имеющимся на сейсмограмме.

По временам прихода волн  $P$  и  $S$  сейсмологи, зная скорости распространения этих волн, могут рассчитать расстояние от места установки приборов до гипоцентра землетрясения (рис. 5.6). Данные о скоростях сейсмических волн собирались в течение многих лет; поэтому сейчас эти скорости известны с высокой точностью. Скорости волн  $P$  и  $S$  различны и зависят еще от того, в какой среде распространяются волны. В различных скальных породах скорости волн  $P$  равны 3–8 км/с (11 000–29 000 км/ч), а волн  $S$  – 2–5 км/с (7000–18 000 км/ч). После того как для нескольких станций определено расстояние до гипоцентра, можно определить координаты гипоцентра и эпицентра. И только после этого можно приступать к определению магнитуды землетрясения по Рихтеру.

### Магнитуда Рихтера

Магнитуда землетрясения – это, по существу, полученная из сейсмограммы мера смещения почвы (или смещения частиц среды). Смещение почвы и амплитуда сейсмической волны одно и то же, и чем сильнее

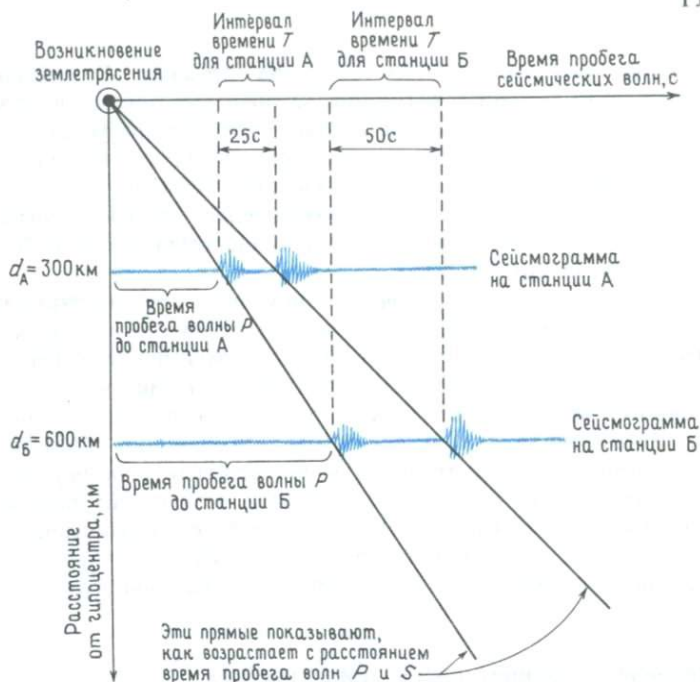


Рис. 5.6. Определение расстояния до гипоцентра. Волны  $P$  распространяются быстрее волн  $S$  и потому достигают сейсмографа первыми. Пусть  $T$  — интервал времени между вступлениями волн  $P$  и  $S$ , измеренный по сейсмограмме одной из сейсмических станций. Обозначим через  $V_P$  и  $V_S$  скорости соответствующих волн. Тогда расстояние  $d$  от станции до гипоцентра можно рассчитать по формуле

$$d = T \frac{V_P \cdot V_S}{V_P - V_S}$$

Пример.

$$V_P = 6 \text{ км/с}, \quad V_S = 4 \text{ км/с}$$

$$\text{Станция А: } T = 25 \text{ с}, \quad d_A = 25 \cdot \frac{6 \cdot 4}{6 - 4} = 300 \text{ км},$$

$$\text{Станция Б: } T = 50 \text{ с}, \quad d_B = 50 \cdot \frac{6 \cdot 4}{6 - 4} = 600 \text{ км}.$$

Гипоцентр землетрясения находится в 300 км от станции А и в 600 км от станции Б.

размах волны, тем больше магнитуда землетрясения. Многие участвовали в разработке идеи магнитуды, но непосредственно построил ее на основе многолетних наблюдений д-р Чарлз Ф. Рихтер, профессор Калифорнийского технологического института в Пасадене, применив затем эту шкалу к оценке известных землетрясений. Он дал описание своей

шкалы в работе 1935 г.<sup>\*)</sup>, которая сейчас считается уже классической. Профессор Рихтер – тихий и скромный человек, и он никогда не связывал своего имени со шкалой. Даже в своих поздних работах он отказывался называть ее шкалой Рихтера, хотя уже давным-давно пресса и общественность сделали слова «шкала Рихтера» синонимом выражения «шкала магнитуд землетрясений».

Рихтеру порой было трудно объяснить людям, что шкала Рихтера – это математическая шкала, требующая измерений и расчетов на бумаге. «Они представляют себе шкалу в виде какого-то инструмента или прибора. Каждый год приходит кто-нибудь, желая взглянуть на мою шкалу», – сказал он журналисту в одном из последних интервью.

Рихтер заимствовал термин «магнитуда» из астрономии, которой интересовался как любитель. В астрономии яркость звезд измеряют в логарифмической шкале и называют «звездной величиной» (по английски – *magnitude*. – *Перев.*). Но на этом аналогия кончается, потому что в астрономии меньшая звездная величина означает большую яркость (Сириус, ярчайшая звезда вне Солнечной системы, имеет звездную величину 1,0, а слабенькие, едва различимые глазом звездочки – величину 6,0). Далее Рихтер использовал обычную логарифмическую шкалу с основанием 10, тогда как в шкале астрономов используются логарифмы с основанием, равным корню пятой степени из 100 (приближенно 2,51).

Из-за того что амплитуды сейсмических волн убывают с расстоянием, было необходимо выбрать для измерений какое-то стандартное расстояние. Рихтер выбрал расстояние 100 км от эпицентра. (Он имел дело лишь с неглубокими землетрясениями, для которых гипоцентральные и эпицентральные расстояния практически равны.) Конечно, не обязательно каждый раз иметь приборы в точности на расстоянии 100 км от эпицентра; просто можно вводить поправки для приведения результатов измерений, полученных на других расстояниях, к тем, которые были бы получены на расстоянии 100 км. Такие поправки не очень точны, и в этом одна из причин того, почему для одного и того же землетрясения различные сейсмические станции дают несколько различающиеся значения рихтеровской магнитуды.

Другая трудность связана с использованием большого числа различных типов сейсмографов, каждый из которых регистрирует с максимальной амплитудой разные типы волн, даже если приборы расположены в одном месте. Рихтер использовал один определенный тип прибора – так называемый короткопериодный сейсмограф Вуда–Андерсона, и если используется другой тип сейсмографа (что обычно в наше время), то требуется вносить поправку, чтобы прийти к той амплитуде, которую зарегистрировал бы стандартный сейсмограф. Неустойчивость этих поправок – другая причина расхождений в оценках магнитуд.

---

<sup>\*)</sup> См. перевод: Рихтер К. Ф. Инструментальная шкала для магнитуд землетрясений. В кн.: Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961, с. 13–44.

Наконец, нужно договориться о том, что именно и в каких единицах следует измерять. В шкале Рихтера используется измеренная по сейсмограмме максимальная амплитуда смещения почвы в микронах (микрометрах); 1 мкм — это одна миллионная доля метра. Магнитуда Рихтера есть приведенный к стандартному расстоянию десятичный логарифм этой амплитуды.

Лучше всего определять магнитуду Рихтера его собственными словами: «Магнитуда любого толчка определяется как логарифм выраженной в микронах максимальной амплитуды записи этого толчка, сделанной стандартным короткопериодным крутильным сейсмометром на расстоянии 100 км от эпицентра». Измерить амплитуды волны на сейсмограмме очень просто; все трудности в определении магнитуды начинаются, когда нужно привести полученные значения к тем, которые были бы получены сейсмографом Вуда—Андерсона на расстоянии 100 км от эпицентра. На каждой сейсмической станции имеются сложные поправочные формулы, используемые для этой цели. Эти формулы учитывают расстояние до эпицентра и направление на него, глубину очага и местные геологические условия. Чтобы облегчить расчет магнитуды, формулы программируются для ЭВМ или переводятся в специальные графики. Когда происходит землетрясение, наблюдатель, определив расстояние до его эпицентра, просто измеряет максимальную амплитуду на сейсмограмме и обращается к графикам или к ЭВМ для получения магнитуды.

В упрощенном виде процедура расчета показана на рис. 5.7, построенном для некоторой конкретной сейсмической станции. Для других станций нужны другие графики, так как поправки для разных мест различны. Представим себе, что какое-то землетрясение записано на сейсмограмме с максимальной амплитудой 20 мм (20 000 мкм), измеренной так, как это показано в верхней части рисунка. Допустим, землетрясение произошло в 300 км от нашего сейсмографа. Эти две точки надо отыскать на крайней левой и крайней правой шкалах данной номограммы и соединить их прямой линией. Там, где прямая пересечет среднюю шкалу, мы прочтем значение магнитуды Рихтера (5,3).

Шкала магнитуд Рихтера — шкала эмпирическая и неточная. Вот что заметил сам Рихтер в своей первой статье: «Точность при этом подходе не требуется и не ожидается. Все, чего мы добивались, — это разделения сильных, умеренных и слабых толчков на основе прямых инструментальных данных, которое должно быть свободно от неопределенностей, вносимых в изучаемое явление субъективными оценками или случайными обстоятельствами... И чтобы не создавалось впечатление, что к этому методу предъявляются требования высокой точности, здесь желательно подчеркнуть, что он на самом деле является методом грубым».

На практике магнитуды, определенные по данным разных станций, различаются на несколько десятых доли единицы; другими словами, одна станция может определить, что магнитуда некоторого землетрясения равна 6,3, другая — 6,8, третья — 6,5. Такого разброса и следует ожидать, если учесть исключительную сложность процесса землетрясения

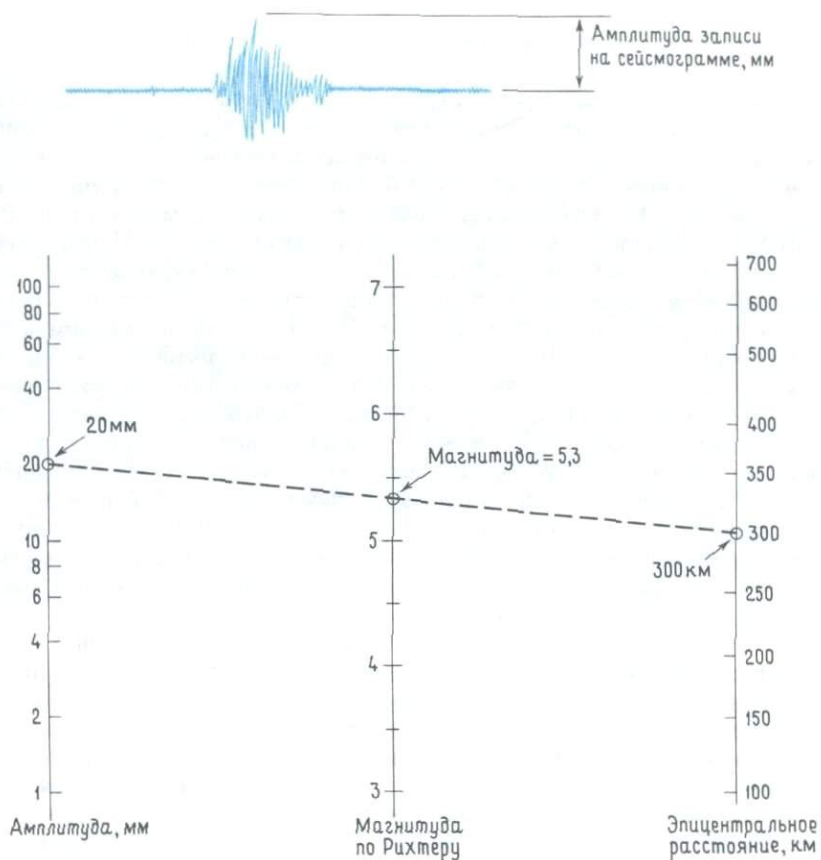


Рис. 5.7. Номограмма для определения магнитуды Рихтера. Чтобы определить магнитуду Рихтера, вы должны вначале определить эпицентрального расстояние этого землетрясения (например, 300 км). Далее действуйте так:

- 1) измерьте амплитуду на сейсмограмме (например, 20 мм);
- 2) проведите прямую линию, соединяющую значения амплитуды и эпицентрального расстояния;

3) прочтите значение магнитуды на средней шкале (в нашем случае 5,3).

*Примечание:* Это номограмма построена для определенной сейсмической станции; на каждой станции используется своя номограмма.

и тот факт, что сейсмические волны могут распространяться разными путями, через многие различные типы пород и структур в земной коре, расположенных между гипоцентром и сейсмической станцией.

## Пояснения к магнитуде Рихтера

Поскольку шкала магнитуд логарифмическая, увеличение магнитуды на единицу означает десятикратное возрастание амплитуды колебаний в волне (или смещения грунта). Амплитуды сейсмических волн у землетрясения с магнитудой 6,0 в 10 раз больше, чем у землетрясения с магнитудой 5,0, в 100 раз больше, чем у землетрясения с магнитудой 4,0 и в 1000 раз больше, чем у землетрясения с магнитудой 3,0. Нулевая магнитуда не означает, что землетрясения нет; поскольку нуль — это логарифм единицы, такое землетрясение записывается стандартным сейсмографом на расстоянии 100 км с амплитудой 1 мкм (0,001 мм). Землетрясение с магнитудой 0 и в самом деле очень слабое, совершенно неощутимое для людей, однако оно вполне может быть записано высокочувствительным сейсмографом. Можно обнаружить и измерить даже еще более слабые землетрясения: землетрясение с магнитудой  $-1$  в стандартных условиях имеет амплитуду 0,1 мкм и т. д. для магнитуд  $-2$ ,  $-3$ . Наиболее чувствительные сейсмографы могут обнаружить землетрясение с магнитудой до  $-3$ . Самое слабое из ощутимых землетрясений имеет магнитуду около 1,5, а наименьшее землетрясение, способное причинить ущерб (хотя бы и минимальный), — около 4,5.

В самой шкале верхний предел магнитуды не предусмотрен, так как это расчетная величина. По этой причине шкалу Рихтера часто называют «открытой» шкалой. В действительности же сама Земля создает практический верхний предел, подобно тому как чувствительность аппаратуры создает нижний предел. Сильнейшие из когда-либо зарегистрированных землетрясений имели магнитуду 8,9. Таких землетрясений с начала инструментальных наблюдений известно два, оба в зонах субдукции под океаном. Одно произошло в 1933 г. у берегов Японии, другое — в 1906 г. у берегов Эквадора. Похоже, что Земля не в состоянии (в физическом смысле) породить более сильное землетрясение. В сводке характеристик землетрясений (см. табл. А.1 в конце книги) указана частота повторяемости сильных землетрясений по Земле в целом.

## Сейсмическая энергия

Магнитуда Рихтера тесно связана с энергией, высвобождающейся при землетрясении. Как уже говорилось выше, лишь небольшая доля высвобожденной энергии излучается в форме сейсмических волн. Но поскольку именно эти волны порождают ощущаемое нами движение грунта и вызывают повреждения зданий и сооружений, мы рассматриваем излученную энергию как *сейсмическую энергию* землетрясения. Хотя она составляет лишь малую долю общей энергии, при землетрясении с магнитудой 8,0 сейсмической энергии хватило бы для обеспечения электроэнергией всех районов США в течение суток.

Пытаясь оценить количество энергии, выделяющейся при землетря-



Даже деревянные дома обрушились при землетрясении Канто 1923 г. (магнитуда 8,3), когда погибло 99 300 человек. После сильных сотрясений возникли пожары, бушевавшие по всему Токио, и цунами, уничтожившее портовые сооружения вокруг Токийского залива. [С разрешения К. Исиды.]

сениях, сейсмологи провели много исследований. В лучшем случае они получили эмпирические и довольно приблизительные оценки.

Д-р Бено Гутенберг, покойный сейсмолог из Калифорнийского технологического института, коллега Рихтера, получил следующее соотношение, связывающее энергию и магнитуду Рихтера:

$$\lg E = 9,9 + 1,9M - 0,024M^2.$$

Здесь слева стоит десятичный логарифм от сейсмической энергии  $E$ , выраженной в эргах, а  $M$  — магнитуда Рихтера. Говоря кратко, это соотношение показывает, что количество сейсмической энергии при увеличении магнитуды возрастает в чудовищной степени. Однако, чтобы быть последовательными, мы должны вначале объяснить, что такое эрг. Эрг — это обычная единица энергии в старой метрической системе, так же как фунт-сила-фут есть единица энергии в американской системе (или килограмм-сила-метр в европейской. — *Перев.*). Перевод одной из них в другую дается соотношениями:

$$1 \text{ фунт-сила-фут} = 13,6 \cdot 10^6 \text{ эрг},$$

$$1 \text{ килограмм-сила-метр} (1 \text{ кгс} \cdot \text{м}) = 9,8 \cdot 10^7 \text{ эрг}.$$

В современной метрической системе, известной как система СИ, единицей энергии является джоуль, равный  $10^7$  эрг. Другая единица энергии в системе СИ – киловатт-час – используется для измерения электроэнергии, поступающей к потребителям:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3,6 \cdot 10^{13} \text{ эрг.}$$

Чтобы дать лучшее представление об эрге, заметим, что суточное потребление электроэнергии в США в среднем индивидуальном домовладении или квартире составляет  $15 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ , или  $5,4 \cdot 10^{14}$  эрг, а общее потребление электроэнергии в сутки в США равно  $300 \cdot 10^{21}$  эрг.

Теперь выразим в эргах сейсмическую энергию, пользуясь формулой Гутенберга. Взяв калькулятор, положим  $M = 4$  и, произведя вычисления, получим  $E = 0,0013 \cdot 10^{20}$  эрг. Эти величины поставлены в первой строке табл. 5.1. Прделав то же самое для  $M$ , равных 5, 6, 7 и 8, получим остальные числа. Первое, что нас поражает, это быстрое возрастание сейсмической энергии с ростом магнитуды. Например, при землетрясении с магнитудой 5,0 высвобождается в 48 раз больше энергии, чем при землетрясении с магнитудой 4,0. Сравнивая далее числа в таблице, мы видим, что землетрясение с магнитудой 8,0 выделяет в 35 раз больше энергии, чем землетрясение с магнитудой 7,0, а землетрясение с  $M = 7,0$  – в 39 раз больше энергии, чем с  $M = 6,0$ . Выходит, что землетрясение с магнитудой 8,0 выделяет примерно в 1300 раз больше энергии, чем землетрясение с магнитудой 6,0. Продолжая в том же духе, мы найдем, что при 2 800 000 землетрясений с  $M = 4,0$  высвобождается столько энергии, сколько при одном землетрясении с  $M = 8,0$ . Эта оценка показывает ошибочность мнения о том, что много слабых землетрясений могут предотвратить появление одного очень сильного. Хотя при меньших землетрясениях все же выделяется энергия, ее количество совершенно незначительно по сравнению с тем, которое высвобождается при сильном землетрясении.

Таблица 5.1. Сейсмическая энергия землетрясений

Магнитуда по Рихтеру	Сейсмическая энергия, $10^{20}$ эрг	Возрастание энергии на 1 единицу магнитуды	Энергия по отношению к энергии землетрясения с $M = 4,0$
4,0	0,0013		1
5,0	0,063	В 48 раз	48
6,0	2,7	В 43 раза	2100
7,0	110	В 39 раз	80 500
8,0	3700	В 35 раз	2 800 000

Еще одно сопоставление энергий приводится на рис. 5.8. По вертикальной оси отложена энергия в эргах, по горизонтальной – магнитуда по Рихтеру. Энергетическая шкала логарифмическая, так что каждое деление на ней означает увеличение энергии в 10 раз. Наклонная линия

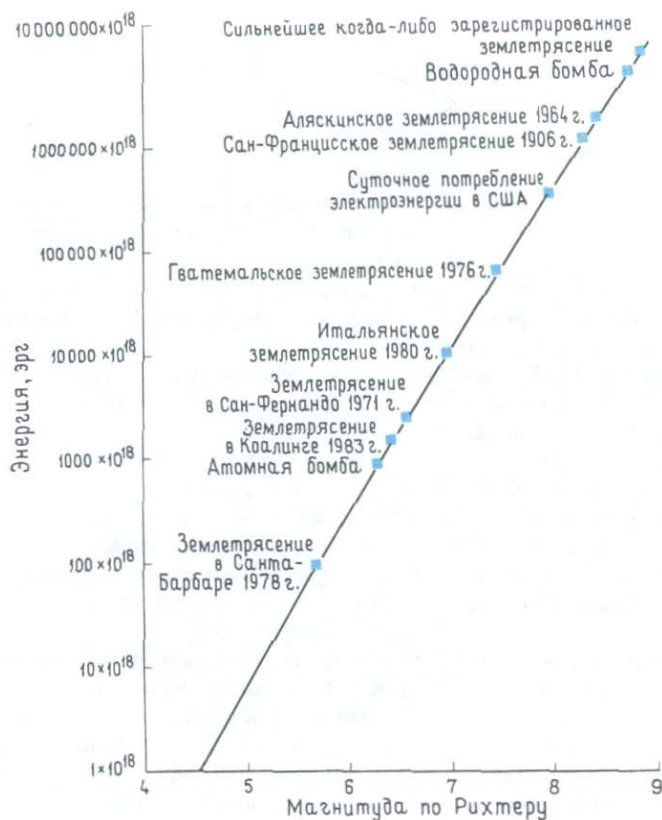


Рис. 5.8. Соотношение между сейсмической энергией и магнитудой Рихтера. Шкала энергии изображена в логарифмическом масштабе: количество энергии изменяется в 10 раз при перемещении на одно деление шкалы. Таким образом, энергия землетрясения 1980 г. в Италии (магнитуда 7,0) примерно в 100 раз больше энергии землетрясения 1978 г. в Санта-Барбаре (магнитуда 5,7).

дает соотношение между энергией и магнитудой, соответствующее формуле Гутенберга. Вновь мы видим огромное возрастание энергии с ростом магнитуды. Поскольку сейсмическая энергия, которую мы рассматриваем, является излученной энергией, она, пожалуй, лучше характеризует разрушительную способность землетрясений, чем сама магнитуда. Это означает, что землетрясение с магнитудой 8,0 страшнее, чем с магнитудой 7,0, в 35 раз (а не в 10).

Из-за принципиальных трудностей в получении надежных значений магнитуды путем измерения амплитуд на сейсмограммах сейсмологи обратились к новому параметру, называемому *сейсмическим моментом* и дающему лучшую физическую меру величины землетрясения. Сейсмический момент определить и вычислить еще труднее, чем магнитуду,

и он пока используется лишь в исследовательских работах\*). Мы еще не встречали упоминания о нем в газетах при сообщении о землетрясениях.

## Акселерографы

Сейсмографы предназначены для записи малых перемещений грунта, вызываемых удаленными землетрясениями. Сейсмологи используют их для определения положения гипоцентров, оценки магнитуд и изучения механики землетрясений. Инженеров, однако, интересует, как ведут себя конструкции, подвергающиеся воздействию сильных колебаний грунта при близких землетрясениях, т.е. тому виду сотрясений, который приносит ущерб. Чтобы записать эти колебания грунта, требуется другой тип приборов, способный измерять не смещение почвы, а ее ускорение. Такие приборы называются *акселерографами*, а система из груза и подвеса внутри акселерографа — это *акселерометр*. Полученная запись, называемая *акселерограммой*, внешне похожа на сейсмограмму, но ее математические характеристики совсем иные. Акселерографы в отличие от сейсмографов не имеют системы непрерывной регистрации; вместо этого они включаются от самого землетрясения и имеют питание от батарей (поскольку при сильных землетрясениях электричество часто отключается).

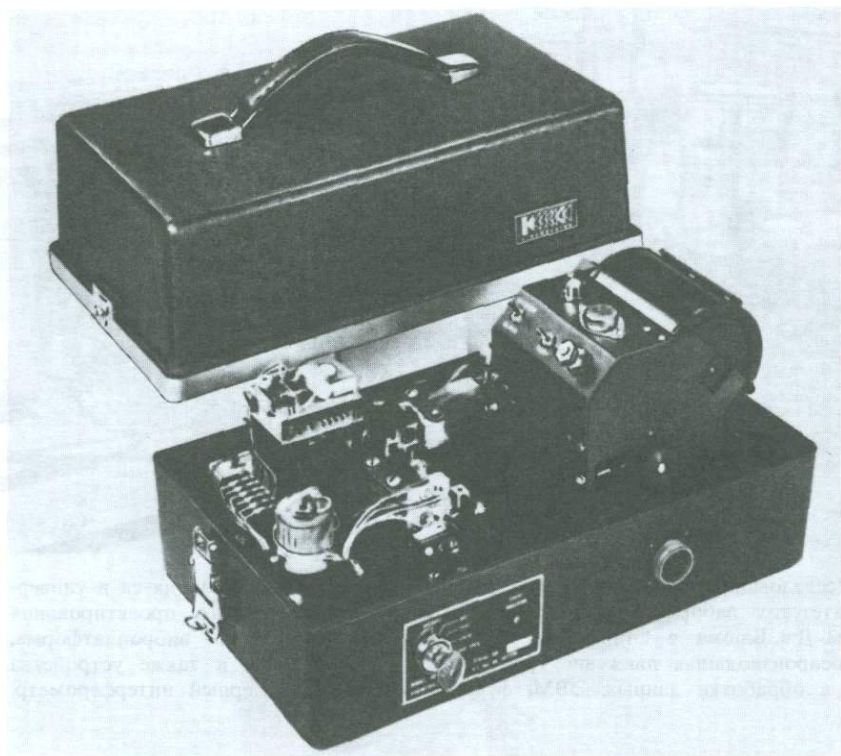
Несколько сотен акселерографов установлено в настоящее время в США вдоль главных разломов, а также на высоких зданиях и на других ответственных сооружениях. Во всем мире установлено около 5000 таких приборов. Когда в 1971 г. произошло землетрясение в Сан-Фернандо, от него включились более 250 акселерографов; это был наиболее полный из когда-либо полученных набор записей движения почвы и сооружений при сильном землетрясении. Для инженеров такие записи представляют огромную ценность и помогают рассчитать колебания зданий при землетрясениях.

## Интенсивность

Еще сотни лет назад люди пытались оценить величину землетрясения по размерам причиненного им ущерба. Если одно землетрясение разрушило больше зданий, чем другое, его можно было считать более сильным. Хотя такой подход кажется естественным, он может привести к заблуждениям. Ведь объем разрушений очень сильно зависит от расстояния до гипоцентра и от местных факторов, например от качества построек и свойств грунта. Сегодня мы называем степень ущерба в определенном месте *интенсивностью* землетрясения и измеряем ее в баллах с помощью специальной цифровой шкалы. Для каждого зем-

---

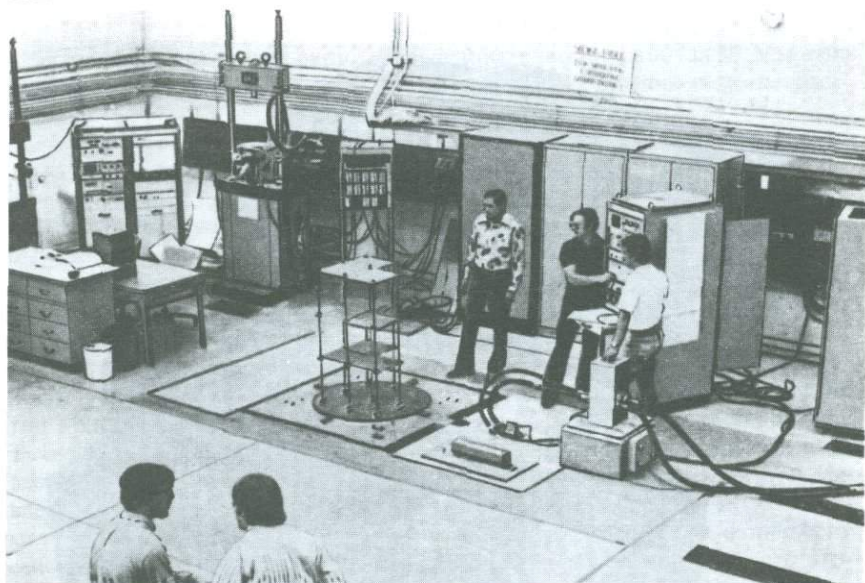
\*1 Сейсмический момент имеет простой физический смысл: это произведение площади разрыва в очаге землетрясения на величину подвижки по этому разрыву и на модуль упругости вещества земной коры.—Прим. перев.



Акселерографы предназначены для измерения сильных местных землетрясений и не реагируют на удаленные землетрясения. Сейсмографы, напротив, достаточно чувствительны, чтобы обнаружить землетрясение, происшедшее в любом месте земного шара, однако их «зашкаливает», когда землетрясение происходит неподалеку. На снимке показан акселерограф SMA-1, широко используемый в США. [С разрешения фирмы «Кинеметрикс», Пасадена, Калифорния.]

летрясения существует лишь одна магнитуда по Рихтеру, однако это землетрясение может вызвать сотрясения различной интенсивности: от высокой в наиболее сильно пострадавших районах и до самой низкой, не связанной ни с каким ущербом, — вдали от эпицентра.

Чтобы лучше проникнуться «ощущением» интенсивности, представьте себе, что вы находитесь в магазине и беседуете с продавцом, как вдруг чувствуете сильный толчок и резкое содрогание пола. Вы не в состоянии удержаться на ногах, а вокруг опрокидываются полки, лопаются оконные стекла и одна из стен обрушивается под страшный грохот падающих кирпичей. Чудом вы остаетесь целым и невредимым, хотя другие в соседних домах не отделяются столь легко. Вы испытали сотрясение интенсивностью IX баллов по Модифицированной шкале Меркалли (шкале MM), которая используется повсюду в США. Возможно,



Исследования воздействия землетрясений на сооружения проводятся в университетских лабораториях, подобных Центру сейсмостойкого проектирования им. Дж. Блюма в Станфорде. В лаборатории установлена виброплатформа, воспроизводящая движение грунта при землетрясениях, а также устройства для обработки данных, ЭВМ, фурье-анализатор и лазерный интерферометр.

### Джон Мьюэр и его ведро с водой

Великий натуралист Джон Мьюэр спал в своей небольшой деревянной хижине у подножья Сентинел-Рок в Йосемитской долине, когда произошло сильное землетрясение в Оуэнс-Валли. Это было 26 марта 1872 г., а несколькими годами раньше Мьюэр высказал предположение о природе многих весьма впечатляющих оспей у подножья громадных гранитных стен. И вот ему представился случай самому наблюдать по крайней мере одну из их причин.

Сошлемся на Мьюэра: «Светлой лунной ночью в марте в половине третьего я был разбужен страшным землетрясением, и, хотя я прежде никогда не имел удовольствия пережить бурю такого рода, странное дрожание не позволяло ошибиться, и я выбежал из своей хижины, одновременно обрадованный и испуганный, с криком: «Знатное землетрясение! Знатное землетрясение!»,- чувствуя, что в самом деле могу узнать что-то новое».

Земля содрогалась так сильно, что Мьюэр должен был пере-

двигаться с осторожностью, балансируя, «как на палубе корабля среди волн». Он опасался, что обломки скал с крутых обрывов над ним могут быть сброшены толчками вниз, и нашел себе убежище за большой сосной. Когда он посмотрел при лунном свете на каменные карнизы, то увидел, что скала Игл-Рок на южной стене долины как бы расступилась, давая дорогу потоку из тысяч камней, устремившемуся вниз на дно долины. После первого осмотра нового осыпного склона Мьюэр побежал через луг к реке Мерсед, чтобы увидеть, течет ли она в прежнем направлении; он «был счастлив убедиться в том, что *вниз по долине* все еще означает действительно *вниз*». Примерно в половине четвертого утра произошел второй толчок, а следом за ним и третий. Мьюэр говорил, что землетрясения происходили почти ежедневно в течение двух месяцев.

Он держал на своем столе ведро с водой, чтобы наблюдать, как плещется вода, и что-то узнать о колебаниях. Сегодня для изучения землетрясений у нас есть нечто большее, чем ведро с водой; однако мы все еще ждем, когда же произойдет землетрясение, чтобы «узнать что-то новое».



(Из материалов Архива Бетсмана.)

в этом случае вы ощутили очень близкое землетрясение с магнитудой 6,0 или удаленное землетрясение с магнитудой 8,0. Другой человек в другом городе мог столкнуться с не столь сильными проявлениями. Он мог, например, слышать потрескивание здания, стук дверей и звон стеклянной посуды в буфете. В его населенном пункте интенсивность была всего IV балла, хотя это было то же самое землетрясение с той же самой магнитудой.

Упрощенный и отредактированный текст шкалы ММ приведен в табл. 5.2. Заметьте, что интенсивность обозначается римскими цифрами, чтобы избежать путаницы с магнитудой, и шкала ее содержит баллы от I до XII. Первоначальный вариант этой шкалы возник в 1902 г. Его предложил в Италии Джузеппе Меркалли, и шкала стала называться «шкала Меркалли». В 1931 г. шкала была пересмотрена и модернизирована Г. Вудом и Ф. Ньюменом из Сейсмологической лаборатории Калифорнийского технологического института и получила название «Модифицированная шкала Меркалли». Затем Рихтер в 1956 г. заново пересмотрел шкалу и назвал ее «Модифицированная шкала Меркалли, вариант 1956 г.». В настоящее время употребляются и другие шкалы: шкала Японского метеорологического агентства (JMA), европейская шкала MSK (названная по именам предложивших ее сейсмологов: С. В. Медведева из СССР, В. Шпонхойера из ГДР и В. Карника из ЧССР), а также китайская шкала интенсивности.

Интенсивность, приписываемая данному конкретному землетрясению,—это обычно максимальная интенсивность, наблюдаемая при этом землетрясении. В общем можно считать, что максимальная интенсивность обычно выше при более сильном землетрясении, чем при более слабом, однако корреляция между интенсивностью и магнитудой очень приблизительна. Интенсивность зависит помимо магнитуды и расстояния от многих других факторов. Два землетрясения с одной и той же магнитудой, но одно с очагом на глубине 10 км, а другое—30 км, порождают совершенно различную интенсивность на земной поверхности. Кроме того, определенные грунтовые условия могут во много раз усилить колебание почвы в одном районе по сравнению с другим, создавая различную интенсивность при одной и той же магнитуде. Однако, если мы устраним эти различия в грунте, соотношение между магнитудой по Рихтеру и максимальной интенсивностью по шкале ММ будет примерно таким, как иллюстрирует табл. 5.3.

### Как определяется интенсивность

Интенсивность не является непосредственно измеряемой величиной; ее определение полностью субъективно. Чтобы получить значение интенсивности, надо обследовать пострадавшие районы, осмотреть повреждения зданий, резервуаров, дорог, каналов, горных склонов и всего того, что могло испытать воздействие землетрясения. В дополнение к этому рассылаются вопросники государственным служащим—работникам почты, персоналу заповедников (национальных парков), лесникам, наблюда-

Таблица 5.2. Модифицированная шкала Меркалли  
(шкала ММ) для оценки интенсивности землетрясений

- I. Не ощущается населением<sup>1)</sup>
- II. Ощущается лишь немногими, находящимися в покое, особенно на верхних этажах зданий
- III. Ощущается многими в зданиях. Похоже на вибрацию проходящего небольшого грузовика. Висячие предметы едва колеблются. Может не восприниматься как землетрясение<sup>2)</sup>
- IV. Ощущается большинством людей внутри зданий и некоторыми вне зданий. Похоже на сотрясения от проходящего тяжелого грузовика. Висячие предметы заметно колеблются. Стоящие автомобили сдвигаются. Окна, посуда, стеклянные двери дребезжат; стаканы и рюмки звенят. Потрескивают деревянные стены и рамы
- V. Ощущается большинством людей как внутри, так и вне зданий; спящие просыпаются. Жидкость в сосудах колеблется и частично расплескивается. Небольшие предметы смещаются или опрокидываются; может разбиться столовая и стеклянная посуда, двери распахиваются; могут остановиться маятники часов. Иногда качаются деревья и столбы
- VI. Ощущается всеми. Многие пугаются, некоторые выбегают наружу. Походка людей становится неуверенной. Столовая и стеклянная посуда бьется, лопаются некоторые оконные стекла. Небольшие предметы падают с полок; со стен слетают картины. Может сдвигаться мебель. Трещины в штукатурке и в каменных и кирпичных зданиях категории D<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Интенсивность в I балл может проявиться в виде длиннопериодных колебаний на значительном расстоянии от очень крупного землетрясения. Эти эффекты могут вспугнуть птиц и животных, вызвать легкое покачивание висячих предметов и медленное распахивание дверей, хотя люди не ощущают толчков и не считают, что эти эффекты вызваны землетрясением.

<sup>2)</sup> Каждый признак землетрясения упоминается в таблице на том уровне интенсивности, на котором он появляется достаточно часто. Он может встретиться менее часто или с меньшей силой и на предыдущем (более низком) уровне, более часто и с большей силой на более высоком уровне интенсивности.

<sup>3)</sup> Качество зданий из каменной или кирпичной кладки определено Рихтером (в 1956 г.) следующим образом. Категория А: хорошее качество работ, хороший раствор, хорошая конструкция; здание армировано в продольном направлении и связано поясами из стали, бетона и т. п.; конструкция предусматривает сопротивление боковому усилию. Категория В: хорошее качество работ, хороший раствор; здание армировано, но без специальных расчетов на сопро-

Звон церковных колоколов и школьных колокольчиков. Деревья и кусты заметно сотрясаются

- VII.** Население пугается; трудно устоять на месте. Водители автомашин замечают сотрясение на ходу. Всякие предметы раскачиваются. Ломается мебель. Повреждаются печные трубы. Выпадают плохо закрепленные кирпичи, камни и черепица; со зданий обрушиваются карнизы, неармированные парапеты и архитектурные украшения. Повреждения домов категории *D* каменной или кирпичной кладки, трещины в домах категории *C*. В водоемах заметны волны. Небольшие оползания грунта на песчаных и галечниковых берегах. Звон больших колоколов. Повреждения бетонных оросительных каналов
- VIII.** Общий страх, признаки паники. Трудно вести автомашину. Падает штукатурка; обрушивается кладка некоторых кирпичных или каменных стен. Смещаются с поворотом и падают печные и заводские трубы, памятники, башни и баки на высоких опорах. Незакрепленные каркасные дома смещаются с фундаментов. Тяжелые повреждения каменных и кирпичных зданий категории *D*, повреждения и частичные обрушения зданий категории *C*, некоторые повреждения у зданий категории *B*, здания категории *A* без повреждений. Ломаются подгнившие опоры, обламываются ветви деревьев. Может измениться дебит или температура воды в источниках и скважинах. В сырых грунтах и на крутых склонах появляются трещины
- IX.** Всеобщая паника. Повреждения зданий хорошей постройки; большие разрушения внутри зданий. Не закрепленные специально каркасные дома сдвигаются с фундаментов. Кирпичные и каменные дома категории *D* разрушаются; тяжелые повреждения, иногда полное обрушение домов категории *C*; дома категории *B* получают серьезные повреждения. Повреждения фундаментов. Серьезные повреждения водохранилищ; лопаются подземные трубопроводы. Заметные трещины в грунте. На аллювиальных почвах выбросы песка и ила; грунт фонтанирует, образуя песчаные грифоны

---

тивление боковым усилиям. Категория *C*: обычное качество работ, обычный раствор; здание без ослабленных мест, вроде неперевязанных узлов, однако без поясов и без расчета на боковые усилия. Категория *D*: слабый материал, например сырцовый кирпич, слабый раствор, низкое качество работ; слабая сопротивляемость в горизонтальном направлении.

- X. Большинство кирпичных, каменных и каркасных зданий разрушается вместе с фундаментами. Разрушаются некоторые деревянные дома хорошей постройки и мосты. Серьезный ущерб наносится плотинам, дамбам и причалам. Большие оползни. На берега каналов, рек и озер выплескивается вода. На пляжи и низменные участки берегов выбрасываются песок и ил. Рельсы слегка искривляются
- XI. Обрушивается большинство кирпичных, каменных и деревянных зданий. Разрушаются некоторые мосты. В грунте появляются большие трещины. Подземные трубопроводы полностью выходят из строя. Сильно искривляются рельсы
- XII. Всеобщее разрушение. Смещаются большие массы горных пород. На поверхности видны «земляные волны». Видимые изменения ландшафта. Предметы подбрасываются в воздух

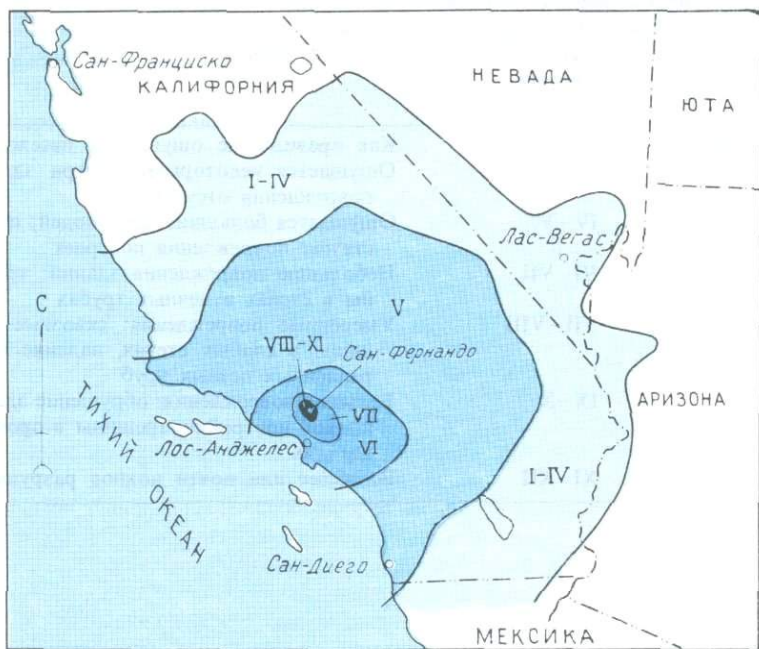


Рис. 5.9. Карта изосейст землетрясения 1971 г. в Сан-Фернандо (магнитуда 6,6). Максимальная интенсивность его была XI баллов по Модифицированной шкале Меркалли (шкале ММ). Интенсивность уменьшилась до VI баллов в Лос-Анджелесе и до V баллов в Сан-Диего.

телям метеослужбы. Заполненные вопросники возвращаются в Геологическую службу США, где наблюдения, относящиеся к землетрясению, суммируются и обрабатываются, и в результате служба определяет значения интенсивности в различных пунктах.

После того как получены значения интенсивности, их наносят на карту района. Линии, соединяющие точки с одинаковой интенсивностью, называются *изосейстами*. Они проводятся на карте и разделяют район на зоны с различной интенсивностью. Из-за весьма субъективного характера наблюдений эти линии, конечно, проводятся довольно приблизительно. Тем не менее *карты изосейст* — очень удобный способ обозначить место землетрясения, размеры и положение пострадавшего района и эффекты геологического строения в данном месте. На рис. 5.9 показана карта изосейст землетрясения в Сан-Фернандо 1971 г. Заметим, что максимальная интенсивность вблизи эпицентра достигала XI баллов и упала до V на расстоянии от 40 до 120 км в зависимости от направления. Изосейсты показывают, что землетрясение ощущалось на расстояниях вплоть до 400 км от эпицентра.

Таблица 5.3. Примерное соотношение между магнитудой по Рихтеру и максимальной интенсивностью по шкале ММ

Магнитуда по Рихтеру	Максимальная интенсивность по шкале ММ	Типичные эффекты
2,0 и ниже	I–II	Как правило, не ощущается населением
3,0	III	Ощущается некоторыми внутри зданий; повреждения отсутствуют
4,0	IV–V	Ощущается большинством людей; отсутствуют повреждения построек
5,0	VI–VII	Небольшие повреждения зданий: трещины в стенах и печных трубах
6,0	VII–VIII	Умеренные повреждения: сквозные трещины в слабых стенах, падение неукрепленных печных труб
7,0	IX–X	Большие повреждения: обрушение зданий плохой постройки, трещины в прочных зданиях
8,0 и выше	XI–XII	Всеобщее или почти полное разрушение

*Могут ли животные предсказывать  
землетрясения?*

*В следующий вторник,  
в восемь утра,  
4,2 по шкале Рихтера.  
Передай дальше*



TO SYLVESTER

(С разрешения Т. Силвестера.)

*Чем дальше от предыдущего, тем ближе к следующему...*

Проф. Ричард Янс,  
Отделение геологии  
Станфордского университета

Заинтересованность правительственных учреждений в прогнозе землетрясений исключительно велика — тысячи человеческих жизней могут быть спасены, если предсказание окажется точным; целые города могут быть эвакуированы зря, если оно окажется ложным. Из-за многих неопределенностей, связанных с землетрясениями, удачное их предсказание бывает весьма редким. Тем не менее возможность точного предсказания настолько заманчива, что сегодня сотни ученых, в основном в США, Японии, Китае и СССР, заняты исследованиями по прогнозу землетрясений.

### **Прогноз в Хайчэне, Китай**

Самое знаменитое предсказание землетрясения было сделано в 1975 г. в городе Хайчэн, пров. Ляонин, на северо-востоке Китая. Район вокруг Хайчэна в течение нескольких лет перед 1975 г. находился под пристальным вниманием сейсмологов, поскольку некоторые признаки указывали на то, что в близком будущем здесь может произойти сильное землетрясение. Были установлены приборы для регистрации наклонов земной поверхности, флуктуаций магнитного поля и изменений электросопротивления грунтов. Население просили отмечать изменения уровня воды в колодцах и сообщать о любых странностях в поведении животных.

Инструментальные наблюдения ясно указывали на изменения, происходящие в недрах Земли. К январю 1975 г. изменения стали достаточно явными, что позволило объявить об опасности в этом районе. Были приняты меры безопасности в отношении самых старых и самых малых, рабочие получили необходимые инструкции, что делать при объявлении тревоги, и люди были готовы ночевать вне зданий.

К февралю признаки надвигающегося землетрясения умножились. Был замечен внезапный подъем уровня воды в колодцах, а ученые, установившие сейсмическую станцию вблизи Инкоу, зарегистрировали необычайное возрастание числа слабых землетрясений. К вечеру 3 февра-

для сейсмологам стало ясно, что сильное землетрясение может разразиться в любой момент, и они уведомили об этом местные власти. Рано утром на следующий день произошло достаточно сильное, ощутимое землетрясение (с магнитудой 4,7).

С учетом всех этих событий общая тревога была объявлена в 2 ч 00 мин пополудни. Народу было сообщено, что в течение ближайших двух дней ожидается сильное землетрясение. Были мобилизованы спасательные средства, закрыты магазины и учреждения, больные вынесены из клиник во временные укрытия, большинство жителей выведено из домов. Чтобы помочь людям скоротать тяжкую холодную ночь вне зданий, в парках и на площадях показывали кинофильмы.

Через пять с половиной часов после объявления общей тревоги, в 7 ч 36 мин вечера, произошло сильное землетрясение (магнитуда 7,3). Сильно пострадал Хайчэн—город со стотысячным населением. Были разрушены сотни домов и фабрик, но, поскольку почти все жители находились вне зданий, число жертв было небольшим. Счастье, что землетрясение произошло вскоре после эвакуации; случись оно несколькими часами позже, многие люди, спасаясь от холода, успели бы вернуться в дома.

Это примечательное событие 4 февраля 1975 г. стало вехой на пути предсказания землетрясений. И, хотя это был не первый удачный прогноз, впервые удалось предсказать столь крупное землетрясение, и впервые были спасены жизни, быть может, нескольких тысяч человек.

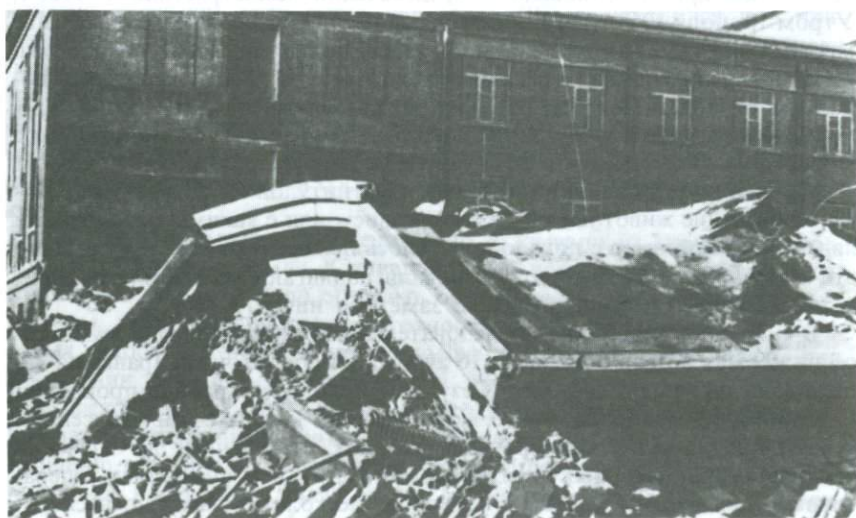
## Другие предсказания в Китае

Один из самых первых прогнозов в Китае был сделан в 1969 г. в районе города Тяньцзинь. Работники местного Народного парка, в котором есть и зоопарк, участвовали в предсказании землетрясений с 1968 г. Утром 18 июля 1969 г. они обратили внимание на необычное поведение многих животных; по их словам тигр был подавлен, панды вопили, яки отказывались от пищи, черепахи беспокоились, а лебеди держались подальше от воды. Подумав, что это может служить предвестником землетрясения, они сообщили обо всем в городское сейсмологическое управление. В полдень того же дня в Бохайване, заливе к востоку от Тяньцзиня, произошло землетрясение с магнитудой 7,4. С чем было связано поведение животных—с землетрясением или с какими-то местными явлениями, например с погодой,—осталось неизвестным. Почему именно эти отдельные животные почувствовали надвигающееся землетрясение, в то время как тысячи других не заметили ничего?

В 1976 г. в Китае были последовательно предсказаны три землетрясения: 29 мая в пров. Юньнань, 16 августа в пров. Сычуань (ранее на Западе ее неправильно называли Сезуан), 7 ноября на границе провинций Сычуань и Юньнань. За много месяцев перед каждым землетрясением сейсмологи выдали долгосрочный прогноз, основанный на изучении сейсмичности, повторных нивелировках и магнитных аномалиях. Оперативный прогноз был сделан в период от нескольких часов до несколь-



*Вверху*—главный вход в гостиницу был сильно поврежден, а ее правое крыло (*внизу*) обрушилось при Хайчэнском землетрясении 1975 г. в Китае. Город был эвакуирован всего за несколько часов до землетрясения; тысячи жизней были спасены этим наиболее успешным предсказанием в мире. [С разрешения д-ра Лю Хуйцяня, профессора и директора Института строительной механики в Харбине.]



ких дней до каждого землетрясения, главным образом на основе данных об увеличении числа слабых толчков. Были приняты меры безопасности, а в одном случае проведена массовая эвакуация населения за четыре дня до землетрясения.

Китайские ученые настоятельно подчеркивают, что многие сильные землетрясения не были предсказаны, включая катастрофическое землетрясение 1976 г. в Таншане, и что число ложных тревог намного превышает число успешных прогнозов. Например, когда мы говорили с сейсмологами в Сиане – древней столице, знаменитой своими археологическими сокровищами, – мы узнали, что там несколько лет назад была проведена частичная эвакуация населения, однако землетрясения не последовало. Официальная точка зрения состоит в том, что лучше выпустить много неудачных прогнозов, чем допустить, чтобы сильнейшее землетрясение осталось непредсказанным. Население Китая постоянно страдает от разрушительных землетрясений, и поэтому оно терпимо относится к ошибкам прогноза. Насколько нам известно, официальные лица, объявляющие тревогу, не подвергаются публичному осуждению и не несут ответственности за убытки, если они ошибаются.

## Прогноз в США

В США было успешно предсказано лишь несколько слабых землетрясений, и ни один из этих прогнозов не повлек за собой каких-либо общественных действий. Прогнозы были важны в первую очередь для самих исследователей, изучающих землетрясения.

Первый удачный прогноз в США, сделанный в 1973 г., относился к озеру Блу-Маунтин в горах Адирондак (на севере шт. Нью-Йорк). В 1972 г. сейсмологи Колумбийского университета начали измерять скорости сейсмических волн в окрестностях озера. Они знали, что за несколько лет до этого советские ученые заметили: в некоторых случаях изменения скоростей сейсмических волн предшествуют землетрясениям. Чтобы определить скорости сейсмических волн, в грунте взрывают небольшие заряды и измеряют время прихода волн в близлежащие пункты: скорость распространения волн является физической характеристикой недр Земли в данном районе. 1 августа 1973 г. после того, как было замечено внезапное изменение скоростей сейсмических волн, было сделано предсказание землетрясения с магнитудой от 2,5 до 3,0, которое должно случиться в течение ближайших нескольких дней. И в самом деле, 3 августа произошло землетрясение с магнитудой 2,6, так что предсказание оказалось успешным и вызвало большое воодушевление среди сейсмологов. Оно подтвердило открытие советских ученых и привлекло внимание к возможности успешных прогнозов в будущем.

Другое предсказание состоялось в 1974 г. в Калифорнии вблизи Холлистера, в том месте, где разлом Калаверас смыкается с разломом Сан-Андреас. Этот район – одна из наиболее насыщенных приборами и наиболее изученных сейсмичных зон в мире. Данные магнитометров выявили изменение земного магнитного поля, а наклонометры показали,

что поверхность Земли смещается. Сейсмологи Геологической службы США начали внимательно следить за этой зоной и 27 ноября 1974 г. собрались, чтобы оценить накопленные сведения. Они пришли к выводу, что зона близка к возникновению землетрясения, однако они не были уверены в этом настолько, чтобы объявлять тревогу. Через день после заседания произошло землетрясение с магнитудой 5,2. Позже было выяснено, что одновременно с изменениями магнитного поля и наклона поверхности изменялась скорость сейсмических волн. Если бы у сейсмологов к моменту заседания были данные об изменении скорости, они, несомненно, выдали бы официальное предсказание.

Неофициальное предсказание было сделано в северной Калифорнии и в 1975 г. Несколькими годами раньше было завершено строительство большой земляной плотины Оровилл, и к концу 1968 г. водохранилище было заполнено. Когда плотина была построена, в ее окрестностях были установлены сейсмографы для обнаружения землетрясений, которые могли порождаться сооружением плотины и водохранилища. С июня 1975 г. в районе, протянувшемся на 15 км от плотины к югу, заметно возросла сейсмическая активность. К концу июля проф. Б. Болт, директор Сейсмической станции при Калифорнийском университете в Беркли, пришел к мысли, что большое число слабых землетрясений достаточно тревожно и может служить предупреждением. Он позвонил Дж. Хаузнеру из Калифорнийского технологического института, председателю Консультационной группы по сейсмологии шт. Калифорния, а тот известил Отдел водных ресурсов. Основной толчок Оровиллского землетрясения (магнитуда 5,9) произошел 1 августа, так что этот случай можно считать вполне успешным, хотя и неофициальным предсказанием.

Более официальным был прогноз, выданный исследователями Геологической службы США в 1976 г. Основываясь на измерениях крипа (ползучести) вдоль разлома Калаверас к востоку от Сан-Хосе в Калифорнии, они предсказали в июне 1976 г., что разлом может ожить и породить землетрясение в течение трехмесячного периода, середина которого падает на 1 января 1977 г. Землетрясение с магнитудой 3,2 в самом деле произошло 8 декабря 1976 г. в той части разлома, которая находилась под наблюдением. Этот случай также следует считать успешным предсказанием.

Не вполне определенный характер этих предсказаний заставляет заключить, что потребуются еще годы накопления и изучения данных, прежде чем прогнозы станут столь надежными, что можно будет перейти к общественным мероприятиям.

### **Советские работы по прогнозу**

В 60-х и 70-х годах в СССР была проведена серия новаторских работ по прогнозу землетрясений. В районе Гарма в Таджикистане в это время впервые была обнаружена связь между изменениями скоростей сейсмических волн и возникновением землетрясений. После многолетних наблюдений советские сейсмологи 1 ноября 1978 г. официально сообщили,

что в течение ближайших 24 ч может произойти крупное землетрясение в окрестностях Гарма. Прогноз был основан на явлениях разного рода, включая деформации, выявленные наклономерами и деформографами, возрастание сейсмической активности, изменения скоростей сейсмических волн и уровня воды в скважинах. Истечение воды в одной из них практически прекратилось 1 ноября, а в других резко уменьшился дебит. Землетрясение с магнитудой 7,0 произошло спустя шесть часов после оповещения между горными хребтами Памира и Тянь-Шаня, в 150 км восточнее Гарма. Советские ученые сообщали и о других случаях предсказания землетрясений в Таджикистане и Узбекистане.

### Японские работы по прогнозу

Комплексные исследования по прогнозу землетрясений в Японии ведутся с 1964 г. — года катастрофического землетрясения в Ниигате. В Японии разрушительные землетрясения происходят практически ежегодно, и возможность успешных прогнозов представляет огромный общественный интерес.

Важные эксперименты были проведены между 1965 и 1967 гг., когда возник рой из тысяч слабых землетрясений вокруг города Мацусиро в преф. Нагано (центральная часть острова Хонсю). В течение одного дня происходило до 600 землетрясений, среди них некоторые были с магнитудой от 4 до 5 — достаточной, чтобы вызвать некоторые повреждения. Перед более сильными толчками наблюдались изменения наклона земной поверхности и увеличение числа слабых толчков. Повторные нивелировки говорили о значительном поднятии местности, а магнитометры отмечали усиление магнитного поля. Подобные наблюдения дали как бы намек на то, как можно предсказывать землетрясения, однако успешные предсказания все еще ждут установления более надежных связей между явлениями.

Начиная с 1974 г. район Токай к югу от Токио обозначился как зона, где наиболее вероятно возникновение следующего катастрофического землетрясения. Этот географический район включает целиком преф. Сидзуока, а также части префектур Айти, Гифу, Канагава, Нагано и Яманаси. Это — район высокой плотности населения и развитой индустрии. В прошлом здесь происходили катастрофические землетрясения (последнее произошло в 1854 г.), а в настоящее время образовалось сейсмическое затишье (см. с. 119). В этом районе ведутся интенсивные сейсмологические исследования.

В 1978 г. Японское правительство издало «Акт о всеобщих контрмерах против землетрясений», которым учреждена широкая программа мероприятий по прогнозу землетрясений и подготовке к ним. На Японское метеорологическое агентство (ЖМА) была возложена работа по предсказанию времени ожидаемого Токайского землетрясения. В регионе были открыты новые сейсмические и геофизические станции, задачей которых стало слежение за движениями земли, деформациями в земной коре, изменениями силы тяжести, эмиссией радона и изменениями уров-

ня грунтовых вод. В дополнение к этому регистрируется число слабых землетрясений. Японцы надеются, что все эти наблюдения позволят получить достаточно данных для предсказания землетрясения. Параллельно программе прогноза развиваются массовые программы подготовки и обучения населения.

### **Неудачный прогноз**

Два американских сейсмолога, один из Бюро горной промышленности, а другой из Геологической службы США, предсказали в январе 1981 г., что в июне, августе и сентябре 1981 г. в океане у берегов Перу и северной части Чили произойдут три очень крупных землетрясения и что их магнитуды по Рихтеру будут 8,5; 9,4 и 9,9. Последних двух чисел было достаточно, чтобы посеять сомнения в надежности этих прогнозов, хотя бы потому, что максимальное когда-либо зарегистрированное приборами землетрясение имело магнитуду 8,9. Тем не менее прогноз встревожил перуанское правительство и привлек острейшее внимание общественности.

Вскоре после опубликования этого прогноза группа из 12 американских специалистов, известная под названием «Национальный совет по оценке прогнозов землетрясений», собралась, чтобы заслушать его обоснование. После двухдневного слушания группа пришла к заключению, что предсказание не имело под собой никакой научной основы, и перуанское правительство было извещено об этом. Как известно, сильного землетрясения у берегов Перу и северного Чили в 1981 г. не было. Сильнейшее южноамериканское землетрясение 1981 г. произошло 15 октября в центральной части Чили около Вальпараисо и имело магнитуду 7,2; во время этого землетрясения один человек погиб в автомобильной катастрофе, вызванной впадшим в панику шофером. Однако даже в том случае, если бы катастрофическое землетрясение далее к северу все-таки произошло, Совет должен был бы объявить это совпадением, потому что никаких существенных доводов в поддержку прогноза не было.

### **Представьте, что опубликован официальный прогноз**

Вообразите, что Геологическая служба США объявила о весьма высокой вероятности возникновения крупного землетрясения вдоль разлома Сан-Андреас около Лос-Анджелеса в течение ближайшего месяца. Предполагается, что такое землетрясение способно вызвать разрушение домов, плотин и других сооружений на большой территории. Число человеческих жертв может достичь 2000. Что же надо делать?

Если место, время возникновения и сила землетрясения могут быть предсказаны с большой точностью, на этот вопрос ответить нетрудно. Люди в районе ожидаемого бедствия должны немедленно начать подготовку, и, когда настанет время, каждый должен выйти из здания на безопасное место. Гибель и травмы людей могут быть сведены почти

к нулю, хотя потери имущества будут велики. Народ добровольно пойдет на все возникающие неудобства.

Но в реальности любые предсказания будут содержать большую долю неопределенности. Даже упомянутое выше гипотетическое предсказание является приблизительным – место фиксировано неточно и занимает пространство во много миль; ожидаемое время растягивается на несколько дней; сила землетрясения попадает в интервал магнитуд от 6 до 8. Более того, предсказанное землетрясение может вообще не состояться. Что делать в этих условиях, далеко не ясно. Мы можем только посочувствовать представителям власти, которые вынуждены принимать решение – действовать или не действовать – в условиях большой неопределенности и будут беспощадно оговорены или даже осуждены за неправильные действия, если принятое ими решение не окажется в согласии с последующими событиями.

Действия, которые можно предпринять в связи с прогнозом, множественны и разнообразны. Если времени достаточно, можно укрепить здания, снести слабые постройки, понизить уровень воды в водохранилищах, провести обучение населения спасательным работам и мерам первой медицинской помощи, а тех, кто не в состоянии позаботиться о себе, можно перевести в более безопасные зоны. Другие меры, требующие меньших затрат времени, включают: мобилизацию отрядов спасателей; создание неприкосновенного запаса пищи, воды, медикаментов; организацию размещения эвакуируемых; изоляцию опасных зданий, мостов и улиц; удаление с полок хрупких и опасных предметов; остановку опасных процессов на заводах и в лабораториях; наконец, эвакуацию людей из опасных зон, например из зон возможного затопления ниже плотин.

Предсказание ложится тяжелым бременем на ответственное правительственное учреждение, такое как Геологическая служба США, и может иметь тяжелые последствия для района ожидаемого бедствия. Могут возникнуть большие социальные и экономические нарушения в обществе, не говоря уже о личных неудобствах и трудностях. Подумайте, что может случиться со стоимостью имущества, страховыми взносами, планами нового строительства, занятостью населения и деловой активностью в целом. Многие жители могут уехать из этого района, и в результате произойдет серьезный экономический спад. С этими последствиями еще можно смириться, если землетрясение действительно произойдет, но представьте себе, что оно не случится... Будут ли оправданы экономические потери только тем, что землетрясение *могло* произойти? Ответ на этот вопрос должен быть найден, так как прогноз понемногу превращается из игры «угадай-ка» в научную методологию.

К несчастью, люди плохо понимают вероятностную природу прогноза землетрясений; от науки ждут ответов четких и ясных, а не полных неопределенности. В этих условиях большинство ученых полагают, что наилучший подход – публикация всей информации, которой они располагают. Даже если они попытаются скрыть часть фактов, которая, по их мнению, может быть неверно истолкована общественностью, они не

в состоянии предотвратить утечку информации. Более того, утаивание информации о надвигающемся землетрясении, даже если прогноз в высшей степени ненадежен, может дать посвященным какие-то незаслуженные преимущества. Они могут, например, использовать случай для покупки или продажи дома либо для передислокации деловой активности.

### Статистические прогнозы

Рассмотрим теперь виды явлений, используемых сейсмологами для прогноза, — статистические данные, сейсмические затишья и предвестники. После этого обратимся к полунучным аспектам прогноза, включающим теории спускового механизма, различные поверья и поведение животных.

Старейший и наиболее обычный метод предсказания землетрясения — это статистический метод, основанный на анализе сейсмологической истории района: данных о числе, размерах и частоте повторения землетрясений. Предполагая, что сейсмичность района не меняется с течением времени, мы можем по этим данным оценить вероятность будущих землетрясений. Естественно, чем длиннее период времени, за который мы имеем сведения о землетрясениях, тем точнее будет прогноз. В Калифорнии сведения о землетрясениях собраны примерно за 200 лет, а в Китае имеются данные более чем за 2000 лет.

Пытаясь восстановить как можно более раннюю историю землетрясений в Калифорнии, ученые в последнее время обратились к геологическим данным. Интересную работу провел д-р К. Сих из Калифорнийского технологического института, в то время студент-дипломник Станфордского университета, работавший под руководством проф. Р. Янса. Заложив шурфы поперек разлома Сан-Андреас в южной Калифорнии и изучая вскрытые слои почвы и скальных пород, он определил, что в течение последних 1200 лет здесь произошло восемь крупных землетрясений со средним интервалом между ними 140 лет.

Если известна (из исторических документов или по геологическим данным) частота, с которой землетрясения происходили в прошлом, можно сделать обобщенный статистический вывод о вероятности землетрясения в будущем. Например, мы можем сказать, что землетрясение с магнитудой 6,0 или выше ожидается в Калифорнии каждые десять месяцев, а землетрясение с магнитудой 7,0 или выше ожидается лишь один раз в пять с половиной лет.

Статистические прогнозы не помогают предсказать конкретное место и конкретное время землетрясения; таким образом, они не очень полезны с точки зрения предварительных мероприятий по безопасности. С другой стороны, они имеют огромное значение для инженеров, которые должны проектировать сооружения со сроком существования 50–100 лет.

### Сейсмические затишья

Статистические данные по землетрясениям прошлого помогли выделить те районы вдоль границ плит, где вероятность возникновения землетрясений относительно велика по сравнению с другими районами вдоль тех же границ. Изучая совокупность землетрясений, происходивших в прошлом, сейсмологи могут определить, в каких районах происходило проскальзывание плит (и, следовательно, высвобождались накопленные напряжения), а какие были относительно «спокойны». Предполагается, что в «спокойных» зонах напряжения растут, и поэтому они являются наиболее вероятными местами возникновения следующих землетрясений. Район вдоль границы плит, где сейсмичность была заметно ниже, чем вдоль соседних участков границы, называется зоной *сейсмического затишья*. Идея сейсмического затишья используется в долгосрочном прогнозе землетрясений, однако она дает мало надежды на предсказание времени и магнитуды конкретного землетрясения в конкретном месте.

В последние годы привлекают к себе внимание две зоны сейсмического затишья на разломе Сан-Андреас в Калифорнии. В окрестностях Сан-Франциско на этом разломе землетрясения не происходят уже с 1906 г., а на участке разлома севернее Лос-Анджелеса не было ни одного значительного толчка после землетрясения 1857 г. в Форт-Техоне. Итак, оба этих района лидируют среди кандидатов на сильное землетрясение в недалеком будущем. В отличие от них центральный участок разлома между ними подвержен медленному крипу (сползанию) с высвобождением накопленных напряжений; на нем неизвестны случаи возникновения сильных землетрясений, хотя здесь и происходит много слабых.

Вероятность возникновения крупного землетрясения в южной Калифорнии в течение ближайших 30 лет по современной оценке составляет 40%; для района Сан-Франциско она вдвое ниже. В целом для шт. Калифорния на ближайшие 30 лет вероятность равна 50%.

Аляска также изучалась на предмет выделения зон сейсмического затишья. Граница Тихоокеанской плиты вдоль Алеутских островов, залива Аляска и выступа полуострова Аляска внимательно исследована сейсмологами Обсерватории Ламонт-Доэрти Колумбийского университета. В 1968 г. ими были выделены четыре зоны сейсмического затишья; в одной из них, в районе разлома Фэррутер близ Ситки, землетрясения не происходили уже много десятилетий. Происшедшее в 1972 г. землетрясение в Ситке (магнитуда 7,6) высвободило накопленные здесь напряжения и принесло доверие теории сейсмического затишья.

Датированные полосы на карте Аляски (рис. 6.1) обозначают районы вдоль границы плит, где землетрясения, происходившие в последнее время, сопровождались значительным относительным движением плит; например, самая западная полоса обозначает район проскальзывания плит во время землетрясения 3 февраля 1965 г. на Крысьих островах. На карте заметны три важные зоны затишья. Из них наиболее интерес-



Рис. 6.1. Зоны сейсмического затишья на Аляске. Они представляют собой районы вдоль границ плит, где долгие годы не было землетрясений. Полагают, что в зонах затишья существует наиболее высокая вероятность возникновения следующего землетрясения. Наибольший интерес представляет зона затишья в окрестности Якатаги. (Из работы Мак-Канна, Переса и Сайкса, с изменениями.)

на зона, расположенная возле мыса Якатага на северном берегу залива Аляска<sup>\*)</sup>. В последний раз эта область была поражена сильнейшим землетрясением в 1899 г., когда в течение одного месяца произошли два толчка с магнитудами более 8,0. Геологическая служба США проводит специальные наблюдения в районе Якатаги и недавно установила там дополнительные сейсмические станции. Здесь также измеряются высоты земной поверхности с целью выявления наклонов и поднятий.

Зоны сейсмического затишья были выделены у берегов Мексики и Японии, а также в других местах земного шара. Мексиканское затишье было впервые отмечено в 1977 г., и всего через год, 29 ноября 1978 г., точно в указанном районе возникло землетрясение Оахака (магнитуда 7,8). В Японии обнаружено затишье в районе Токай, о чем сказано выше.

### Предвестники землетрясений

Современное развитие науки и техники сделало возможным измерение большого числа разнообразных характеристик Земли, и ученые надеются, что некоторые из этих измерений сделают прогноз землетрясений реальностью. Высокоточные и чувствительные приборы, вроде наклономеров или магнитометров, уже установлены на грунте во многих местах вдоль известных зон разломов. Следя за изменением различных свойств Земли, сейсмологи надеются установить корреляцию между этими изменениями и возникновением землетрясений. Те характеристики Земли, значения которых регулярно изменяются перед землетрясениями, назы-

<sup>\*)</sup> Данные из работы McCann W.R., Pérez O.J. and Sykes L.R. Yakutat Gap, Alaska: Seismic History and Earthquake Potential. Science, 27, March 21, 1980, pp. 1309-1314.

ваются *предвестниками*, а сами отклонения от нормальных значений – *аномалиями*.

Ниже мы кратко опишем некоторые возможные предвестники, изучаемые в настоящее время. Все они наблюдались перед землетрясениями, однако достаточно несогласованно. Чаще всего наблюдаются противоречия: иногда изменения наблюдаются, но землетрясение за ними не следует; в других случаях землетрясение происходит, хотя никаких изменений отмечено не было.

*Сейсмичность.* Положение и число землетрясений различной магнитуды может служить важным индикатором приближающегося сильного землетрясения. Например, сильное землетрясение часто предваряется роем слабых толчков. Выявление и подсчет землетрясений требуют большого числа сейсмографов и соответствующих устройств для обработки данных. В США эту задачу решают Геологическая служба США, Калифорнийский отдел горных работ и геологии и другие учреждения.

*Движения земной коры.* Геодезические съемки с помощью триангуляционной сети на поверхности Земли и наблюдения со спутников из космоса могут выявить крупномасштабные деформации (изменения формы) поверхности Земли. На поверхности Земли проводится исключительно точная съемка с помощью лазерных источников света. Повторные съемки требуют больших затрат времени и средств, поэтому иногда между ними проходит несколько лет и изменения на земной поверхности не будут вовремя замечены и точно датированы. Тем не менее подобные изменения являются важным индикатором деформаций в земной коре.

*Опускание и поднятие участков земной коры.* Вертикальные движения поверхности Земли можно измерить с помощью точных нивелировок на суше или мареографов в море. Поскольку мареографы устанавливаются на грунте, а записывают положение уровня моря, они выявляют длительные изменения среднего уровня воды, которые можно интерпретировать как поднятия и опускания самой суши.

Вдоль западного побережья острова Хонсю в Японии было обнаружено, что в течение первой половины XX столетия суша поднималась на 2 мм в год. Воздымание резко прекратилось в момент Ниигатского землетрясения 1964 г., когда суша внезапно опустилась на 20 см. В Калифорнии обширное поднятие земной поверхности наблюдалось в течение 60-х и 70-х годов нашего столетия вдоль разлома Сан-Андреас к северо-востоку от Лос-Анджелеса. Центр его находился в городе Палмдейл, и это возвышение длиной 200 км получило название «Палмдейлский горб». Причиной возвышения, по-видимому, было нарастание деформаций в земной коре, и всех интересовало, не предшествует ли это сильному землетрясению. Однако горб сейчас опускается, а сильное землетрясение в его окрестностях так и не произошло.

*Наклоны земной поверхности.* Для измерения вариаций угла наклона земной поверхности был сконструирован прибор, называемый наклономером. Наклономеры настолько чувствительны, что прибором в Калифорнии можно было бы измерить наклон всей поверхности США, если бы Нью-Йорк приподнялся всего на 5 см. Наклономеры обычно устанавливают около разломов на глубине 1-2 м ниже поверхности земли. Сеть из 14 наклономеров, установленных через каждые 6 км, размещена по обе стороны разлома Сан-Андреас в районе к югу от города Сан-Хуан-Баутиста; измерения на этой сети указывают на выразительные изменения наклонов незадолго до возникновения слабых землетрясений.

*Деформации.* Для измерения деформаций горных пород бурят скважины и устанавливают в них деформографы, фиксирующие величину относительного смещения двух точек. После этого деформация определяется путем деления относительного смещения точек на расстояние между ними. Эти приборы настолько чувствительны, что измеряют деформации в земной коре вследствие *земных приливов*, вызванных гравитационным притяжением Луны и Солнца. Земные приливы, представляющие собой движение масс земной коры, похожее на морские приливы, вызывают изменения высоты суши с амплитудой до 20 см. Крипометры подобны деформографам и используются для измерения крипа, или медленного относительного движения крыльев разлома.

*Уровень воды в колодцах и скважинах.* Уровень грунтовых вод перед землетрясениями часто повышается или понижается, как это было в Хайчэне (Китай), по-видимому, из-за изменений напряженного состояния горных пород. Землетрясения могут и прямо влиять на уровень воды; вода в скважинах может колебаться при прохождении сейсмических волн, даже если скважина находится далеко от эпицентра. Уровень воды в скважинах, находящихся вблизи эпицентра, часто испытывает стабильные изменения: в одних скажинах он становится выше, в других — ниже.

*Скорости сейсмических волн.* Скорость сейсмических волн зависит от напряженного состояния горных пород, через которые волны распространяются, а также от содержания воды и других физических характеристик пород. В той степени, в какой изменения этих физических характеристик являются предвестниками землетрясений, можно рассматривать в качестве предвестников и скорости сейсмических волн. Скорости волн измеряются с помощью небольших взрывов в скважинах; при этом возбуждаются сейсмические волны, которые записываются близлежащими станциями. По времени пробега волн определяется их скорость. Скорости волн могут быть измерены и по сейсмограммам «настоящих» землетрясений. Волны *P* и *S* имеют разные скорости, и отношение их скоростей также может меняться. Это отношение

впервые рассматривалось как предвестник в советских экспериментах вблизи Гарма, о чем рассказано ранее.

Использование скоростей волн для предсказания землетрясений связано со многими проблемами. Для получения данных, ясно указывающих на изменение скоростей, необходимы сотни измерений. Где следует проводить наблюдения? Являются ли результаты специфичными для определенных районов, или же они характерны для землетрясений повсюду? Чтобы иметь какое-то практическое значение, измерения должны проводиться в одном и том же месте достаточно часто в течение многих лет, так чтобы наблюдения можно было связать с реальным землетрясением, которое может произойти один раз в 20, 50 или 100 лет. Можно сказать, что этот предвестник, как и другие, является обнадеживающим, однако считать его рабочим инструментом прогноза пока все же рано.

*Геомагнетизм.* Земное магнитное поле может испытывать локальные изменения из-за деформации горных пород и движений земной коры. С целью измерения малых вариаций магнитного поля были разработаны специальные магнитометры. Такие изменения наблюдались перед землетрясениями в большинстве районов, где были установлены магнитометры, включая зону разлома Сан-Андреас и Китай.

*Земное электричество.* Изменения электросопротивления горных пород могут быть связаны с землетрясением, так же как и с другими природными явлениями, например с дождем, который меняет содержание влаги в земле. Измерения проводятся с помощью электродов, помещенных в почву на расстоянии нескольких километров друг от друга. При этом измеряется электрическое сопротивление толщи земли между ними. Электропроводность обеспечивается главным образом присутствием в породах воды; следовательно, сопротивление меняется, когда изменяется содержание воды. Опыты, проведенные сейсмологами Геологической службы США вдоль разлома Сан-Андреас вблизи Холлистера, обнаружили некоторую корреляцию этого параметра со слабыми землетрясениями. В лабораторных экспериментах наблюдались изменения электросопротивления в течение периода дилатансии (см. ниже) непосредственно перед растрескиванием образцов горных пород.

*Содержание радона в подземных водах.* Радон — это радиоактивный газ, присутствующий в грунтовых водах и в воде скважин. Период полураспада его равен 3,8 сут, и он постоянно выделяется из Земли в атмосферу. Изменения в содержании радона в воде перед землетрясением впервые были замечены в Советском Союзе, где десятилетнее возрастание количества радона, растворенного в воде глубоких скважин, сменилось резким его падением перед Ташкентским землетрясением 1966 г. (магнитуда 5,3).

В США система слежения за эмиссией радона в настоящее время состоит из более чем ста станций в центральной и южной Калифорнии.

В августе 1981 г. в некоторых скважинах южной Калифорнии наблюдалось повышение концентрации радона; возрастание было достаточно заметным, чтобы породить всевозможные рассуждения о том, является ли оно предвестником землетрясения. Как сказал в то время один из ученых Геологической службы США, «если бы в ближайшем будущем произошло сильное землетрясение, многие заявили бы, что это были убедительные примеры проявления предвестников». Землетрясение, однако, не произошло, и рассуждения продолжают.

В настоящее время попросту не существует такого объема данных, относящихся к каким-либо предшествующим явлениям, которого было бы достаточно для обеспечения надежного прогноза землетрясений. Пройдет много лет измерений и произойдет множество землетрясений, прежде чем эта цель будет достигнута. Измерение разнообразных явлений требует больших расходов, а поскольку следить необходимо за большим числом сейсмичных зон (даже в США), то мы с уверенностью можем предсказать, что большинство будущих землетрясений предсказано не будет.

### **Теория дилатансии**

Теория, способная объяснить некоторые из предвестников, основана на лабораторных опытах с образцами горных пород при очень высоких давлениях. Известная под названием «теория дилатансии», она впервые была выдвинута в 1960-х годах У. Брейсом из Массачусетского технологического института и развита в 1972 г. А. М. Нуром из Станфордского университета. В этой теории дилатансия означает увеличение объема горной породы при деформации. Когда происходят движения земной коры, в породах растут напряжения и образуются микроскопические трещины. Эти трещины меняют физические свойства пород, например уменьшаются скорости сейсмических волн, увеличивается объем породы, меняется электросопротивление (возрастает в сухих породах и уменьшается во влажных). Далее, по мере того как в трещины проникает вода, они уже не могут схлопываться; следовательно, породы увеличиваются в объеме, и поверхность Земли может подняться. В результате вода распространяется по всей расширяющейся зоне, повышая поровое давление в трещинах и снижая прочность пород. Эти изменения могут привести к землетрясению. Землетрясение высвобождает накопленные напряжения, вода выдавливается из пор, и многие из прежних свойств пород восстанавливаются.

### **Спусковой механизм**

Поскольку медленное движение плит приводит к весьма постепенному накоплению напряжений в породах земной коры, логично рассмотреть возможность существования некоторого «спускового механизма» землетрясений. Таким механизмом является какой-то физический процесс, ко-

торый инициирует разрушение в сильно деформированной породе. Например, может произойти внезапное изменение напряжений в породах, подобное тому, что случается при заполнении водохранилищ. Роль спускового механизма при землетрясениях могут играть и атмосферные явления; мы знаем, например, что атмосферное давление у земной поверхности меняется при прохождении метеорологического фронта. Потенциальным спусковым механизмом может быть и другое землетрясение, так как оно возбуждает сейсмические волны и заставляет Землю колебаться. К сожалению, в настоящее время еще нет достаточных оснований использовать какие-либо из этих явлений для прогноза землетрясений.

Одним из возможных спусковых механизмов может быть действие приливов, вызванных Луной и Солнцем. Мы знаем, что приливы существуют не только в океанах, но и в твердой коре, однако никто не знает, достаточно ли велико их действие для того, чтобы вызывать землетрясения. Дж. Беркланд, геолог из округа Санта-Клара в шт. Калифорния, был убежденным защитником идеи о земных и океанских приливах как спусковых механизмах землетрясений. Он предложил выражение «сейсмическое окно» для обозначения периода времени, когда, по его мнению, наиболее вероятно возникновение землетрясений под действием приливных деформаций в земной коре. В качестве окна он рассматривал восьмидневный период, следующий за сизигием, т.е. ситуацией, когда Солнце, Луна и Земля выстраиваются по одной прямой. Сизигии наступают при новолунии или полнолунии, и в это время земная кора испытывает максимальные приливные деформации. Теория сейсмического окна испытывалась путем сравнения времен сотен прошлых землетрясений с приливами, однако по данным исследователей из Геологической службы США корреляция не наблюдалась.

Если идея о том, что напряжения и деформации в Земле, вызванные гравитационным притяжением Солнца и Луны, могут служить спусковым механизмом для землетрясений, кажется правдоподобной, то не только не правдоподобной, но и просто смехотворной представляется мысль о том, что роль спускового механизма могут играть планеты. Суммарное гравитационное притяжение всех планет, вместе взятых, не достигает одной стотысячной доли от гравитационного притяжения Солнца и Луны. В 1981 и 1982 гг. отмечался сизигий («парад планет»), когда Сатурн, Юпитер, Марс, Венера, Солнце и Земля оказались почти на одной прямой, что случается каждые 180 лет. В эти годы не было никакого увеличения сейсмической активности, и это не удивило сейсмологов. К сожалению, общественность иногда возбуждают такие нелепые идеи, как «эффект Юпитера». Авторы выпущенной в 1974 г. книги под таким названием почти не сомневались в том, что «воздействие Солнца и планет в начале 80-х годов вслед за парадом планет создаст спусковой эффект. В частности, мы полагаем, что район Лос-Анджелеса подвергнется самому сильному землетрясению, какое испытывали крупнейшие центры населения в наше столетие». В другом месте книги говорилось, что «в 1982 г.... Лос-Анджелес будет разрушен». Мы ду-

маем, что «Эффект Юпитера» имел своей основной целью создать рекламу и принести прибыль «пророкам».

Есть одна очевидная причина того, почему обречена на неудачу любая теория, в которой делается попытка предсказывать землетрясения на основе одного лишь явления, будь то приливы, погода, астрономические явления, магнетизм, время, прошедшее после предыдущего землетрясения, или что-либо еще. Землетрясение – исключительно сложное физическое явление, зависящее от движения плит, прочности пород, местных геологических условий, состояния подземных вод и десятков других факторов, которые различны в разных районах Земли. Поскольку землетрясение есть результат комбинации многих подобных факторов, его статистическая корреляция с каким-либо одним фактором должна быть крайне низкой.

### Суеверия

В течение столетий землетрясения и их предсказание были окружены многими легендами и предрассудками. Люди всегда боялись землетрясений, и мы легко можем понять, почему первобытный человек испытывал необходимость объяснить их сверхъестественными силами. Однако в свете современных представлений о геологических процессах образованным людям непрослительно позволять шарлатанам вводить себя в заблуждение. Отдельные личности, заявляющие о том, что они обладают особым предвидением, с незапамятных времен пророчествовали и о землетрясении, и о других катастрофах, и даже о конце света. На самом деле никакой связи этих пророчеств с временем реальных землетрясений не существует. Каждые несколько месяцев кто-нибудь предсказывает катастрофическое землетрясение в Калифорнии, и, конечно, когда-нибудь такое «предсказание» оправдается. Однако подобные предсказания могут только ввести в заблуждение легковверных. Слава и доходы, награждающие удачливого предсказателя, служат людям достаточно сильным побудительным мотивом для того, чтобы продолжать заниматься предсказаниями.

### Поведение животных

В течение столетий многократно сообщалось о необычном поведении животных перед землетрясениями, хотя до последнего времени сообщения об этом всегда появлялись после землетрясения, а не до него. Нельзя сказать, действительно ли описанное поведение было связано с землетрясением, или же это было просто обычное явление, которое каждый день случается где-нибудь в окрестностях; к тому же в сообщениях упоминаются как те события, которые вроде бы случились за несколько минут до землетрясения, так и те, что произошли за несколько дней. Другая трудность состоит в общей ненадежности сообщений – часто они передаются через вторые руки и нередко оказываются описа-

ниями поведения животных во время или после землетрясения, а не до него.

Вполне возможно, что животные могут ощущать явления, не воспринимаемые человеческими органами чувств, например изменения магнитного или электрического поля. Они также, по-видимому, в состоянии обнаружить слабые дрожания почвы, не ощущаемые людьми. Конечно, современные приборы могут уловить все подобные изменения, но они появились относительно недавно и расположены на Земле лишь в немногих местах.

Поведение животных трудно использовать для предсказания землетрясений еще и потому, что их необычное поведение может вызываться множеством разных причин, включая погоду, пищу и состояние здоровья. Только если наблюдаются массовые изменения в поведении и их не удастся объяснить иначе, можно почувствовать доверие к использованию реакции животных для предсказания землетрясений.

В США и других странах в настоящее время ведутся исследования поведения животных. Геологическая служба США систематически собирает сведения о необычном их поведении в надежде, что удастся сделать из них какие-то выводы. В Китае предлагают сообщать местным сейсмологам о любом отклонении в поведении животных. Уже говорилось, что поведение животных сыграло роль в предсказании Хайчэнского землетрясения 1975 г. в Китае, хотя нет сомнений в том, что наиболее важные предвестники были зарегистрированы приборами. Китайские сейсмологи подчеркивают, что прогноз не выдается до тех пор, пока все до единого способы оценки не указывают на надвигающееся землетрясение.

В 1980 г. нам представилась возможность посетить Китай для обсуждения проблем сейсмостойкого строительства. Мы встречались с многими группами инженеров, читали лекции, задавали вопросы, а также посетили Таншань – город, разрушенный землетрясением 1976 г. Конечно, при каждом удобном случае мы интересовались прогнозом землетрясений. В Таншане мы узнали, что долговременное предупреждение было выдано за много месяцев до землетрясения, однако само землетрясение произошло неожиданно, без форшоков (предваряющих толчков), и было гораздо сильнее (магнитуда 7,8), чем кто-либо мог предсказать для этого района. Когда мы расспрашивали людей, переживших землетрясение, о поведении животных, они рассказывали нам примерно следующее: в одной семье заметили, что незадолго до землетрясения собаки скулили, водоплавающие птицы взлетали, а насекомые жужжали; другой человек слышал перед землетрясением, как среди ночи кричал осел; кто-то слышал, как корова и лошадь кричали за час до сильного афтершока. Все эти случаи дошли до нас через вторые и третьи руки; никто из людей, с которыми мы говорили, сам не имел отношения к этим событиям. Нам показалось, что в этих рассказах о животных не было ничего необычного: все это могло случиться в любой другой день безотносительно к землетрясению. Более того, если учесть, что вокруг Таншаня находятся тысячи домашних животных, можно лишь уди-

вляться, что рассказы о животных были такими скудными и неопределенными.

Когда мы спросили одного из ведущих китайских сейсмологов о поведении животных как предвестнике землетрясений, он сказал, что не доверяет этому; тем не менее он отметил далее, что крестьяне в сельской местности склонны этому верить. Наши наблюдения показали, что в Китае сейсмологи используют для прогноза ту же методику, что и в других странах.

### Будет ли прогноз решением?

Чтобы продемонстрировать современное положение с прогнозом землетрясений, рассмотрим два последних разрушительных землетрясения в Калифорнии. Землетрясение в 1983 г. в Коалинге (магнитуда 6,5) явилось неожиданностью для всех, в равной степени для ученых и обывателей, хотя Коалинга расположена в центральной части Калифорнии, наиболее полно изученной в геологическом и сейсмологическом отношениях. То же относится и к землетрясению 1971 г. в Сан-Фернандо (магнитуда 6,6)—его место и время были совершенно неожиданными.

Другой пример—землетрясение, происшедшее в мае 1983 г. с магнитудой 7,7 вблизи Акиты (Япония). Японская программа подготовки к землетрясениям сосредоточена в районе Токай, к югу от Токио, где по всеобщему мнению близится крупное землетрясение. Землетрясение в Аките на северо-западе Японии застало людей врасплох; оно произвело много разрушений и привело к гибели 106 человек. Эти примеры, а также все, что мы говорили выше о предвестниках, ясно показывают, что надежные и полезные прогнозы не появятся еще много лет, если вообще когда-нибудь появятся.

Почему же тогда мы так заинтересованы в прогнозе? В конце концов, неверно думать, что успешные прогнозы решат для нас проблему землетрясений. Успешное предсказание не избавит нас от землетрясения; оно все равно сможет причинить большой ущерб зданиям и сооружениям. Кроме того, даже в случае надежного предсказания, может ли эвакуация таких городов, как Сан-Франциско и Лос-Анджелес, быть действительно осуществимой?

Лучший способ уменьшить потери при землетрясениях—это подготовиться к ним. Мы можем готовиться многими способами, скажем улучшая спасательное оборудование, обучая население или повышая уровень инженерного проектирования и строительства. Однако простейший и наиболее важный шаг в такой подготовке—это укрепление старых зданий в той степени, чтобы они не обрушились и не получили обширных повреждений.

Для спасения жизней этот путь много лучше, чем эвакуация города. В самом деле, кто хотел бы вернуться на развалины города после успешной эвакуации?

Сам Рихтер несколько лет назад сказал: «Мне не нравится этот патологический интерес к прогнозу. Он отвлекает нас от уже известного риска и от уже известных мер, которые следует предпринять для устранения этого риска. Мы знаем, где находятся места, которым угрожает опасность, и какие постройки в этих местах ненадежны».

Итак, перейдем к строительным аспектам сейсмологии.



Мост Агуа-Кальенте на шоссе между городами Гватемала и Эль-Прогресо обрушился во время землетрясения 1976 г., затруднив спасательные работы во многих городах и селениях. Фото Р. У. Маддена. [С разрешения Национального географического общества.]

## Сейсмостойкое проектирование и строительство



*Если строитель построит для человека дом и не сделает его прочным, а дом упадет и принесет смерть его владельцу, этот строитель заслуживает смерти. Если при этом погибнет имущество, он должен возместить то, что уничтожено, и, раз он не сделал дом прочным, он должен построить его заново за свой счет. Если строитель построит дом для человека и не сделает его по правилам и стена упадет, тогда строитель должен укрепить стену за свой счет.*

Законы Хаммурапи, 1750 г. до н. э.

По мере того как растет население США и усиливается его урбанизация, угрожающе возрастает опасность крупных катастроф при землетрясениях. Возьмем район залива Сан-Франциско. Ко времени сильнейшего землетрясения 1906 г. его население составляло около 0,5 млн. человек; сейчас здесь уже 5 миллионов, и население продолжает расти. В 1906 г. во всем шт. Калифорния насчитывалось 2 млн. человек, сейчас — более 24 миллионов.

Растущему населению нужно больше домов, плотин, дорог, мостов, каналов, трубопроводов, электростанций, систем коммуникаций, т. е. всего того, что называют *инфраструктурой*. В Калифорнии некогда плодородные сельскохозяйственные земли ныне миля за милей занимают такими сооружениями. Если землетрясение с магнитудой 7,5 и выше произойдет в главных городах — Лос-Анджелесе и Сан-Франциско, оно может привести к гибели от 2000 до 20 000 человек и травмам еще у многих тысяч, уничтожить имущество стоимостью в миллиарды долларов и вызвать не поддающиеся оценке социальные и экономические нарушения.

Задача инженеров — проектировать и создавать инфраструктуру так, чтобы свести к минимуму эти потери. Сооружения, спроектированные

должным образом, могут быть построены так, что будут противостоять самым сильным колебаниям грунта и не обрушаться. Однако *полная* защита от повреждений нереальна, потому что общество не может платить за это необходимую цену. Мы идем на определенный риск при строительстве наших сооружений, так же как идем на некоторый риск и в других жизненных ситуациях, например при пользовании транспортом.

Чтобы оценить уровень потерь при будущем землетрясении, мы должны понять, что потери есть результат комбинации риска и опасности. *Риск*—это все, что мы можем потерять, включая жизнь и имущество; риск велик в областях с высокой плотностью населения; он мал на голом месте среди равнин, где мало что может быть повреждено. *Опасность*—это те природные силы, которые угрожают жизни и имуществу, скажем землетрясения, оползни, торнадо, пожары и наводнения. Короче говоря, опасность—это источник, а риск—возможные потери, которые этот источник может вызвать.

От сочетания риска и опасности зависит вероятность потерь в каком-либо определенном районе. Рассмотрим несколько примеров. Плохо построенный жилой дом, переполненный жильцами, имеет высокую степень риска; однако, если он воздвигнут в зоне с низким уровнем опасности (где землетрясений практически не бывает), вероятность потерь от землетрясения в нем исключительно мала. Возьмем обратный случай: для прочного, хорошо построенного здания гаража, где обычно не скапливается много людей, даже если оно находится в высоко сейсмичной зоне, вероятность потерь мала. Однако поместите слабое жилое здание возле разлома Сан-Андреас, и вероятность потерь угрожающе возрастет.

### Сейсмическая опасность

Опасность, связанную с землетрясениями, обычно отображают на картах *сейсмической опасности*; такая карта для США представлена на рис. 7.1. Нас не удивляет, что наиболее опасные зоны (чем гуще краска, тем выше опасность) находятся на западе США и что с наибольшими проблемами сталкивается Калифорния, в которой гигантские урбанизированные зоны—Лос-Анджелес, Сан-Франциско, Сан-Хосе и Сан-Диего—расположены в районах высокой сейсмичности. Не так хорошо известно, что многие области на востоке Соединенных Штатов Америки также рассматриваются как сейсмичные, особенно среднее течение Миссисипи и районы вокруг Чарлстона в шт. Южная Каролина. Конечно, в целом восточная часть страны явно менее сейсмоопасна, чем западная. Однако низкая опасность на востоке сочетается с высоким риском—там здания построены в среднем раньше и спроектированы с меньшим учетом требований сейсмостойкости (или без учета этих требований), так что возможность больших потерь там все же существует. В целом по стране около 70 млн. человек живут в районах, где опасность от землетрясений значительна.

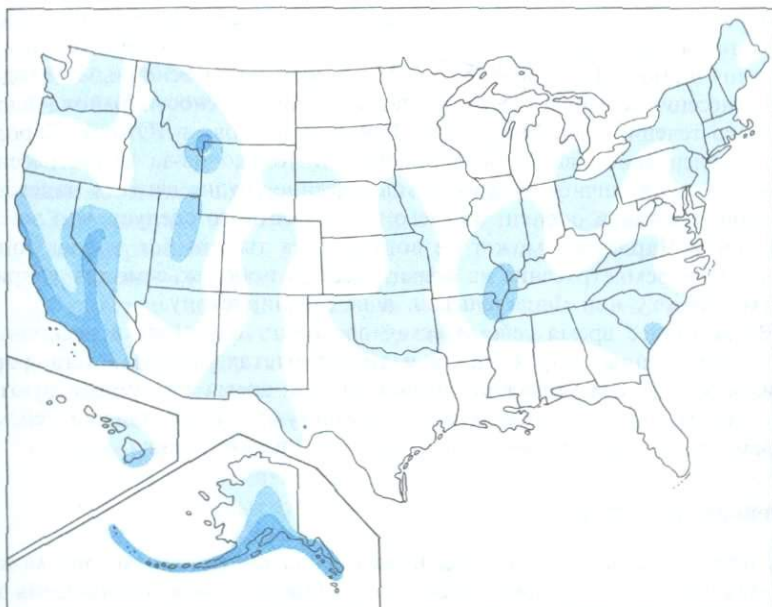


Рис. 7.1. Важнейшие сейсмичные зоны США. Районы самой высокой сейсмичности отмечены наиболее темным цветом. Около 70 млн. человек живет в областях, где сейсмическая опасность довольно велика.

Уровень сейсмической опасности оценивается главным образом по частоте повторения и величине известных землетрясений, а также по геологическим условиям. Чем больший период охватывают исторические сведения о землетрясениях, тем точнее мы можем оценить опасность. летописи в Китае перекрывают интервал более 2000 лет, однако в США мы вынуждены иметь дело с относительно коротким историческим периодом — около 300 лет на востоке и 200 лет в Калифорнии. Когда период наблюдений столь краток, особенно трудно оценить вероятность возникновения сильнейших землетрясений, поскольку крупные землетрясения разделены большими интервалами времени. В Калифорнии изучение исторических материалов в настоящее время дополняется геологическими исследованиями, о чем было рассказано в гл. 6.

Кроме исторических сведений о землетрясениях важнейшую роль в оценке сейсмической опасности играют геологические условия. Например, существование в Калифорнии границы большой плиты означало бы высокую степень сейсмической опасности даже в случае, если бы исторические сведения о землетрясениях охватывали всего несколько лет и не содержали сведений о сильных землетрясениях. То же можно сказать о местах с надежно выявленными разломами в штатах Невада, Юта, Айдахо и Аляска, а также об активных вулканах на Гавайях.

На востоке США, где землетрясения происходят редко и активные

разломы не выходят на поверхность, уровень сейсмической опасности приходится оценивать на основе относительно скудных данных. Землетрясения в Нью-Мадриде в 1811–1812 гг. послужили основным доводом для отнесения к зонам высокой сейсмической опасности района вдоль среднего течения реки Миссисипи. Район Чарлстона в Южной Каролине объявлен зоной высокой сейсмичности только из-за землетрясения 1886 г., хотя единичное сильное землетрясение трудно считать надежной основой для такой оценки; из всего нам известного следует, что землетрясение в Чарлстоне может не повториться тысячи лет, а следующее крупнейшее землетрясение на атлантическом побережье может ударить по Нью-Йорку или Филадельфии, а не по Чарлстону.

В настоящее время сейсмическая опасность изучается в нескольких правительственных учреждениях и университетах, включая Станфордский, и карты сейсмической опасности все время совершенствуются. Они важны потому, что инженеры используют их для оценки сейсмостойкости, которая должна быть заложена в сооружения.

### **Уменьшение потерь**

Мы не можем уменьшить сейсмическую опасность, однако мы можем сделать многое для снижения риска и, следовательно, уменьшения потерь. Решающую роль в этом играют инженеры, работающие в области сейсмостойкого строительства, так как они одновременно являются специалистами и по строительному проектированию, и по землетрясениям. Строители, архитекторы, планировщики, домовладельцы, правительственные чиновники – каждый, кто участвует в процессе строительства, может быть привлечен к работе по снижению риска. Строители должны обеспечивать высокое качество материалов и работ; архитекторы и планировщики – следить за тем, чтобы здания не строились в опасных местах – на разломах, крутых склонах, в заболоченной местности; домовладельцы – ремонтировать и укреплять старые дома и должным образом размещать в них имущество; правительственные чиновники – вводить правила сейсмической безопасности и обеспечивать их выполнение. Потери уменьшаются также, если местные власти содержат спасательные службы (медицинскую, пожарную и охраны порядка) на случай стихийного бедствия.

Некоторые из факторов, важных для уменьшения потерь при землетрясениях, перечислены в табл. 7.1.

### **Эффект хороших конструкций**

Важность хорошего инженерного опыта и высокого качества строительства становится очевидной, если сравнить эффекты двух похожих землетрясений – землетрясения 1971 г. в Сан-Фернандо (Калифорния) и 1972 г. в Манагуа (Никарагуа) с магнитудами соответственно 6,6 и 6,2. Оба землетрясения возникли в такое время суток, когда большинство людей находились в домах, и в обоих случаях население зоны максимальных

Таблица 7.1

**Важные способы уменьшения потерь  
при землетрясениях**

*До землетрясения*

- Сейсмостойкое проектирование сооружений  
Здания должны быть спроектированы устойчивыми против сил землетрясения
- Укрепление существующих построек  
Старые и непрочные сооружения должны быть укреплены, с тем чтобы избежать их обрушения
- Строительные нормы и правила  
Должны быть разработаны и введены в действие хорошо продуманные нормы, обеспечивающие безопасность людей
- Планирование землепользования и районирование территории  
Источники сейсмической опасности, включая активные разломы, оползневые участки и зоны возможного разжижения грунта, должны приниматься во внимание при решениях относительно правильного использования земельных участков
- Готовность к стихийным бедствиям  
Должны быть усилены спасательные службы и разработаны планы (сценарии) на случай бедствия
- Обучение и тренировка населения  
Люди должны понимать природу землетрясений и быть готовы к ним
- Страхование от землетрясения  
Система страхования должна гарантировать материальное обеспечение при больших потерях
- Предсказания и предупреждения  
Даже самое общее предсказание означает, что мы должны начать приготовления

*После землетрясения*

- Спасательные службы  
Службы, располагающие квалифицированным персоналом, должны быть в состоянии срочно обеспечить помощь раненым, контролировать пожары, пресечь нарушения общественного порядка и восстановить нормальные условия жизни общества
- Самостоятельные действия людей  
Каждый должен быть готов позаботиться не только о себе, но и о других

- Строительные организации

Эти организации обеспечивают возможность быстро развернуть работы по восстановлению подачи электроэнергии, водоснабжения, транспорта и т.п.

- Финансовая помощь

Правительственная помощь может понадобиться для того, чтобы тяжесть бедствия равномерно разделялась всем населением

- Социальная помощь и психологические рекомендации

Общественные организации могут оказать помощь отдельным людям или группам людей; советы и рекомендации могут помочь тем, кто оказался под сильным психологическим воздействием бедствия

сотрясений составляло около 1 млн. человек. Есть, однако, и существенная разница: в Сан-Фернандо землетрясение воздействовало на относительно новые здания, построенные в соответствии со строительными нормами, включающими требования сейсмостойкости, в то время как в Манагуа землетрясение поразило старый город, где лишь немногие здания были спроектированы с учетом современных требований.

Эта разница в характере построек привела к существенно различным социальным и экономическим последствиям. При землетрясении в Сан-Фернандо погибло 58 человек, а убытки составили 550 млн. долл. Социально-экономические нарушения ощущались недолго. В Манагуа погибло более 5000 человек, а экономические убытки были сопоставимы с годовым национальным продуктом страны в целом. Разрушение столицы и важного экономического центра страны имело серьезные социальные и политические последствия: даже сейчас (1984 г.), много лет спустя после землетрясения, реконструкция Манагуа и восстановление экономики завершены не полностью.

При землетрясении в Таншане (Китай) в 1976 г. весь город с миллионным населением был разрушен, погибло более 240 000 человек. Ни одно здание, существовавшее в Таншане до землетрясения, не было спроектировано с учетом воздействия сейсмических сил; обычным типом конструкций были неармированные кирпичные стены, которые легко обрушивались при сотрясении грунта.

### **Инженерная сейсмология и сейсмостойкое строительство**

За последние годы необычайно выросли наши знания о землетрясениях и их воздействии. Каждое новое землетрясение дает инженерам-строителям богатые фактические данные о параметрах сотрясения грунта и динамической реакции зданий на эти сотрясения. *Инженерная сейсмология и сейсмостойкое строительство* появились как важное новое на-



Первый этаж здания посольства США в Манагуа полностью обрушился при землетрясении 1972 г., раздавленный вторым этажом. Фото авторов.

правление в области гражданского строительства. Работа специалистов по планировке и проектированию зданий и сооружений в сейсмичных районах требует знания не только строительной механики, но и почв, горных пород, строительных материалов. Они должны разбираться в механизме землетрясений, природе движений грунта и в том, как эти движения воздействуют на сооружения. Сейчас наметилось подразделение специальностей в инженерной сейсмологии и сейсмостойком строительстве: одни специалисты занимаются в основном анализом сейсмической опасности, а другие специализируются в области расчета ответственных сооружений, таких как плотины или электростанции.

Каким образом инженеры-антисейсмики используют свои знания, во многом зависит от потребностей страны. Генеральная цель инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства — свести к минимуму повреждения и потери жизни и имущества — должна быть достигнута на уровне, отвечающем обществу в целом. Этот уровень устанавливается естественным путем и зависит от экономических возможностей. В Китае экономический фактор учитывается в строительных нормах: если конкретная экономическая ситуация благоприятна, требования к сооружениям выше; в противном случае требования снижаются.

Даже наиболее процветающие страны не могут позволить себе строить все здания так, чтобы они могли выдержать сильное землетря-

сение без каких-либо повреждений. Будет оставаться определенный уровень риска. Этот уровень устанавливается постепенно, опытным путем, так же как это происходит в ходе нашей повседневной деятельности, при полетах на самолетах, остановках в гостиницах, при вождении автомобилей. Дополнительное электронное слежение за полетом самолетов уменьшает число их столкновений; детекторы дыма в каждом номере отеля способствуют раннему распознаванию пожара; автоматически наполняющиеся воздушные подушки в автомобилях уменьшают число погибших и раненых при автомобильных катастрофах. Однако на каждом снижении степени риска висит ярлычок с ценой, и мы должны совместно решать, сколько мы хотим заплатить за снижение риска. Точно так же дело обстоит и с проектированием и строительством – высокая устойчивость к сейсмическим повреждениям стоит денег. Необходимость компромисса становится очевидной, когда общество пытается узаконить требования об обязательной перестройке старых и непрочных зданий: главными противниками этого выступают владельцы зданий, которые должны оплачивать расходы.

Инженеры-антисеймики, базируясь на опыте прошлого, установили определенные критерии проектирования, учитывающие приемлемый для общества уровень риска. Эти критерии в неофициальной форме могут быть представлены следующим образом:

– При слабых землетрясениях (магнитуда менее 5,5) здания должны остаться неповрежденными или получить лишь небольшие повреждения.

– При умеренных землетрясениях (магнитуда от 5,5 до 7,0) допускаются некоторые повреждения, однако здания должны сохранить целостность их ремонта.

– При сильных землетрясениях (магнитуда более 7,0) здания должны сохранить жизнь людям и не обрушиться, хотя позже они могут быть снесены.

Более строгие требования предъявляются к зданиям спасательных служб – к больницам, пожарным депо, полицейским участкам, центрам спасательных работ, которые должны сохранить способность функционировать и после землетрясения. Требования к плотинам и электростанциям (тепловым и атомным) настолько жестки, что на их проектирование и строительство должны быть направлены все знания, все мастерство и многолетний опыт инженеров, геологов и сейсмологов.

## Проектирование зданий

Проектирование зданий преследует две цели. Архитектурное проектирование связано с обликом и назначением зданий, техническое проектирование занимается их конструкциями и прочностью. Конечно, оба этих аспекта тесно переплетаются, и инженеры, проектируя здание, работают вместе с архитекторами. Исключение составляет индивидуальное строительство, для которого обычно не требуются инженеры, так как его конструктивное решение обеспечивается с помощью наборов готовых

деталей и табличных данных. Некоторые типы сооружений, например мосты, плотины и башни, проектируются одними инженерами.

Видимая часть здания, находящаяся выше уровня почвы, называется его *наземной частью*. Ниже уровня почвы находится фундамент, который может быть выполнен в разнообразных формах (в виде опор, стенок, плит, столбов, кессонов) и стоит не меньше, чем наземная часть здания. Чтобы надлежащим образом спроектировать фундамент, инженер должен хорошо знать почвенные и геологические условия стройплощадки; эту информацию получают путем бурения скважин и изучения отобранных образцов грунта.

Наземная часть здания состоит из несущей системы конструкций, которая держит все здание, а также стен, крыши, перегородок, коммуникаций, лифтов, лестниц, водяных резервуаров – словом, всего того, что не является частью фундамента. Конструктивная система может выполняться в виде стального каркаса из балок, перекладин и колонн; она может быть выполнена из железобетонных рам, состоящих из колонн и плит междуэтажных перекрытий, или же в виде несущих стен и горизонтальных междуэтажных диафрагм; возможны и многие другие решения. Иногда используются поперечные несущие стены – сами по себе или в сочетании с рамами. Поперечная несущая стена – это толстая жесткая стена из железобетона или армированного кирпича, которая протягивается на всю высоту здания и противостоит горизонтальным сейсмическим силам. Поперечные несущие стены образуют довольно жесткую конструкцию, стальной каркас образует гибкую конструкцию. Правильно рассчитанные, обе системы обеспечивают сопротивление сейсмическим нагрузкам.

Нагрузки, действующие на конструкцию, состоят из веса самой конструкции (называемого *постоянной нагрузкой*) и дополнительных усилий (*временной нагрузки*). Временная нагрузка создается весом всего содержимого здания (людей, мебели, ЭВМ, станков, запасов имущества и воды и т.п.); весом снега на крыше; давлением ветра и ветровым всасыванием, приложенными к стенам и крыше; ударными нагрузками от работы машин и, конечно же, действием землетрясений. Все нагрузки, кроме землетрясения, создают прямое физическое воздействие, тянущее или толкающее здание в вертикальном или горизонтальном направлении. Сейсмические нагрузки заметно отличаются от всех остальных. Строго говоря, это вовсе и не нагрузки. Вот что происходит на самом деле: когда грунт под сооружением двигается, он заставляет его шататься и колебаться самым беспорядочным образом. Это действие похоже на действие горизонтальных сил, приложенных к сооружению, откуда и появляется выражение «сейсмические нагрузки».

Чтобы понять природу сейсмических нагрузок, сделаем простой опыт. Поставим коробку с кукурузными хлопьями на край салфетки, лежащей на столе, а затем быстро дернем салфетку (рис. 7.2). Если мы потянули салфетку вправо, коробка упадет влево, как будто ее толкнула влево невидимая сила. В действительности, конечно, толчка не было. Просто, имея массу, коробка испытала действие инерции, которая пре-

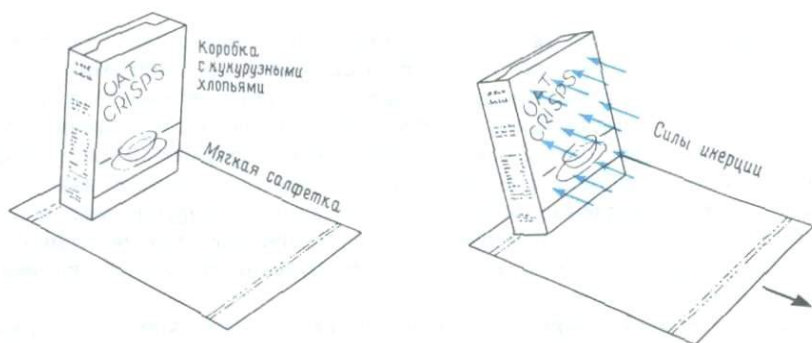


Рис. 7.2. Силы инерции. Если потянуть салфетку вправо, коробка падает влево. Коробка ведет себя так, будто ее толкнули влево горизонтальные силы инерции; такие силы создают нагрузку, воздействующую на здание при землетрясении.

пятствует всяким новым движениям. Когда салфетка смещается вправо, масса коробки пытается остаться на месте, и поэтому коробка падает влево. Инженеры говорят о фиктивных «силах инерции», которые развиваются в коробке, когда сдвигается салфетка. Подобный же процесс происходит, когда под зданием или сооружением сдвигается грунт. Этот процесс, однако, намного сложнее, потому что колебание грунта при землетрясении происходит совсем не так просто, как направленное в одну сторону движение салфетки.

Во время землетрясения грунт смещается одновременно в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Более того, во всех трех направлениях случайным образом чередуются движения туда-обратно, как это видно, например, на типичной сейсмограмме на рис. 5.5 (стр. 90). Еще раз подчеркнем, что единичная сейсмограмма изображает лишь одну компоненту движения. Истинное движение определяется пространственным сочетанием трех сейсмограмм, полученных в трех перпендикулярных направлениях. И когда грунт колеблется таким исключительно сложным образом, в теле сооружения его масса порождает не менее сложные силы инерции. Именно эти силы заставляют здание сдвигаться и вызывают его повреждения.

Довольно легко спроектировать здание, способное выдержать собственный вес и вес находящегося в нем имущества, так как эту нагрузку можно оценить точно и она не меняется произвольно. Мы называем ее *статической* нагрузкой. Но, как мы видим, сейсмическая нагрузка является *динамической*, поскольку она быстро и непрерывно меняется в ходе землетрясения, причем не только по величине (от нуля до больших значений), но и по направлению. Невозможно предвидеть заранее, как будет меняться эта нагрузка, потому что каждое землетрясение индивидуально по своим характеристикам. Тем не менее от инженеров-строителей требуется проектировать здания, способные противостоять сейсмическим силам. Их работа — наполовину наука, наполовину искус-

ство, и во второе понятие входят их профессиональное мастерство, широкий кругозор, интуиция и опыт работы.

Сделать здание устойчивым к землетрясениям помогают некоторые общие его характеристики. Важной чертой является регулярность и симметрия общего плана здания. Здание, спроектированное в виде коробки с прямыми перпендикулярными стенами, значительно прочнее, чем здания Г-образной или П-образной формы (здания с крыльями). Здание сложной, неправильной формы закручивается при качании, что увеличивает повреждения. Мы говорим, что оно подвержено *крутильным* колебаниям.

В целом, чем в здании меньше проемов, тем меньше оно будет повреждено при землетрясении. Однако это условие противоречит потребности в освещении и открытом пространстве, а также необходимости иметь двери и проходы. Таким образом, приходится искать компромисс между задачами архитектора и требованиями строителя. Если в здании нужно иметь большие проемы или желательно построить его со сквозным первым этажом, должны быть приняты специальные меры для сохранения целостности здания.

Изменения в системе конструкций при переходе от этажа к этажу недопустимы. Колонны должны проходить по всему зданию от фунда-



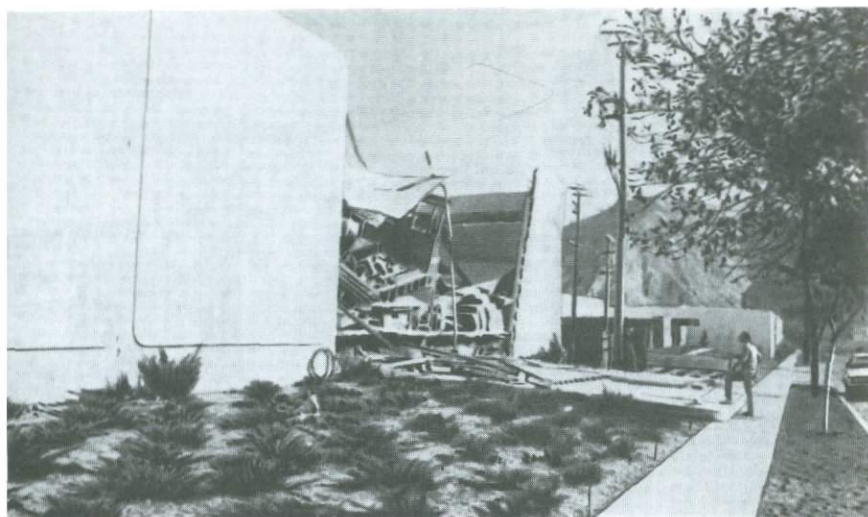
Этот дом устоял при землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо несмотря на то, что грунт осел прямо под ним. Основная часть здания, выполненная в виде коробки, осталась практически неповрежденной, хотя гараж с большим проемом впереди накренился в сторону. Эти повреждения отвечают интенсивности IX по Модифицированной шкале Меркалли. Фото Р. Касла. [С разрешения Геологической службы США.]

мента до крыши без разрывов и без смены вида стройматериала. Если применяются поперечные несущие стены, они также должны проходить без разрывов на всю высоту здания от фундамента до крыши. Трагическим примером того, что происходит при нарушении этого правила, стали оказавшиеся на грани полного обрушения здание больницы Олив-Вью в Сан-Фернандо в 1971 г. и административное здание округа Импириал в Эль-Сентро в 1979 г. В обоих случаях поперечные стены прерывались на первом этаже, чтобы сделать его сквозным. В результате повреждения были столь значительными, что оба здания пришлось снести.

Другим важным свойством конструкций является *гибкость*. Под гибкостью мы понимаем способность конструкций изгибаться, качаться и вообще значительно деформироваться без обрушения. Противоположное свойство конструкций называется *хрупкостью*. Хрупкость появляется как в случае применения изначально хрупких материалов, так и при неправильном использовании изначально гибких материалов. Хрупкие строительные материалы трескаются под нагрузкой; примерами могут служить обожженный кирпич и кирпич-сырец, бетонные блоки. Неудивительно, что основные повреждения при землетрясении 2 мая 1983 г. в Коалинге испытали старые неармированные кирпичные конструкции – здания, построенные из хрупкого материала на слабом растворе. Добавление стальной арматуры может придать хрупкому материалу некоторую гибкость. Железобетон, например, можно сделать гибким при должном использовании стальной арматуры и близко поставленных стальных обручей.

Большинство людей полагает, что сталь – жесткий материал, однако на самом деле она при натяжении может, прежде чем лопнуть, растягиваться, как сливочная тянучка. Круглый стержень из стали может быть закручен на несколько полных оборотов (так, что его поверхность будет похожа на перекрученный канат), прежде чем треснет. Ни одно стальное сооружение еще не обрушилось от сотрясения почвы; раскачивание высокого здания из стали можно сравнить с тем, как гнется пальма при тайфуне.

Наиболее важная особенность проектирования сейсмостойких зданий выражена в следующей заповеди инженеров: «связи здание». Даже глинобитные дома можно сделать безопаснее, если перевязать их отдельные части с помощью тростника, лозы, тросов или чего-либо еще, что окажется под рукой. В современных конструкциях «связывание здания» означает соединение балок, колонн, плит и стен в единую прочную и гибкую конструкцию. Стыки в стальных рамах нужно закрепить болтами или сваркой, чтобы не возникали деформации в углах. В железобетонных конструкциях арматурные стержни и связи должны быть в достаточном количестве; они должны огибать углы и быть глубоко заделаны в бетон. Деревянные здания необходимо основательно прошить гвоздями или скрепить болтами. Почти все конструктивные повреждения при землетрясениях вызваны слабыми сочленениями, т. е. сочленениями, в которых детали не были скреплены должным образом.



«Опрокинутая» панель в стене этого здания выпала при землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо. При использовании «опрокинутых» конструкций необходимо надежно скреплять панели с крышей во избежание таких повреждений. Фото Р. Касла. [С разрешения Геологической службы США.]

Это правило применимо и к мостам: при землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо пролеты некоторых мостов упали лишь потому, что основные плиты перекрытия не были как следует связаны с устоями и столбами.

Хорошие сейсмостойкие проектирование и строительство не приходят сами по себе. Многие инженеры и архитекторы не являются специалистами по сейсмостойкому проектированию. Владельцев же здания интересуют иногда лишь как способ помещения капитала на короткий срок; зная, что разрушительные землетрясения бывают нечасто, они не хотят тратить деньги на придание конструкциям сейсмостойкости и пытаются сократить время проектирования и строительства. Отмахнувшись от факта, что разница между минимальной сейсмостойкостью и высокой сейсмической устойчивостью хорошо построенного здания составляет всего 5% от начальной стоимости здания, они забывают о том, что запоздалое усиление готового здания (например, под давлением общественного мнения или в результате новых требований закона) может обойтись в 50%, если не в 100% его первоначальной стоимости. Кроме того, когда землетрясение все-таки произойдет, владельцы могут не только потерять свое здание, но и понести огромную ответственность за погибших и раненых. Обязанность архитекторов и строителей — объяснять все это владельцам и застройщикам, убеждая их в необходимости обеспечивать высокую сейсмостойкость сооружений.



Во время землетрясения 1971 г. в Сан-Фернандо опора лестницы в больнице Олив-Вью оторвалась от основного здания и, обрушившись, продавила крышу нижнего этажа. [С разрешения Геологической службы США.]

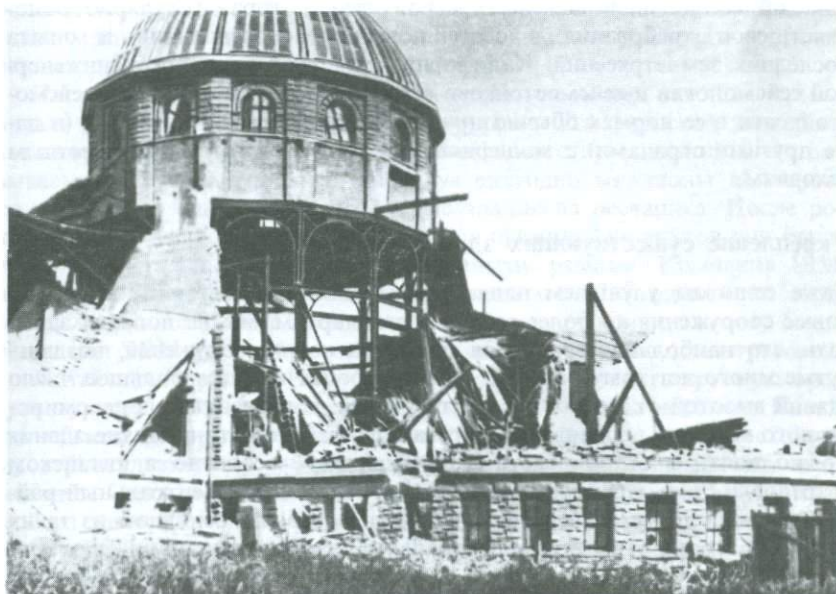
## Строительные нормы и правила

Строительные нормы и правила являются официальным документом, принятым в городах или округах для регулирования подведомственного им строительства. Они содержат спецификацию строительных материалов и методов строительства, а также правила и рекомендации по техническому проектированию. Целью норм является установление *минимальных условий* для обеспечения сопротивляемости здания пожарам, землетрясениям и другим стихийным бедствиям. Однако ни одна норма не может обеспечить полную «безопасность» зданий. Известно много примеров, когда новые здания, спроектированные в соответствии со строительными нормами, не перенесли удара стихий; новейшими трагическими примерами служат обрушение прогулочной галереи отеля в Канзас-Сити в 1981 г. (114 погибших), повреждение больницы Олив-Вью недалеко от Сан-Фернандо в 1971 г. и разрушение административного здания в Эль-Сентро в 1979 г.

Суть вопроса вот в чем: нормы устанавливают лишь минимальные требования и не могут предусмотреть все возможные случаи. В действительности качество зданий гораздо больше зависит от таланта инженера, архитектора и строителя, чем от норм. Квалифицированный специалист, имеющий время и средства, не нуждается в строительных нормах для того, чтобы возвести хорошее сооружение, которое останется целым при любых условиях. Человек неопытный, в особенности если он стеснен во времени и средствах, может спроектировать здание, удовлетворяющее требованиям норм и плохо ведущее себя под нагрузкой.



Все, что осталось от нового гимнастического зала (*вверху*) и библиотеки (*внизу*) Стэнфордского университета после землетрясения в Сан-Франциско 18 апреля 1906 г. Эти снимки сделал старой фотокамерой наутро после землетрясения Дж. Б. Уэллс, студент Высшей школы Пало-Альто. В 1928 г. Уэллс стал профессором строительной механики Стэнфордского университета.



В Калифорнии требования сейсмостойкости в составе строительных норм пересматриваются каждые несколько лет, в особенности после разрушительных землетрясений. Поэтому, за немногими исключениями, мы можем считать, что здания, построенные по последним нормам, обязаны лучше переносить сотрясение грунта, чем здания, построенные по старым нормам (или вообще без учета норм). Важно подчеркнуть тем не менее, что не существует такой вещи, как «абсолютно прочное здание».

Требования сейсмостойкости были впервые введены в Калифорнийские строительные нормы после Сан-Францисского землетрясения 1906 г., хотя «сейсмические нагрузки» в них были тщательно замаскированы и назывались «ветровыми нагрузками». В чем причина? Многие в Сан-Франциско хотели бы отвлечь внимание от сейсмической опасности, чтобы способствовать развитию города. Следующее важнейшее улучшение норм сейсмостойкости произошло после землетрясения 1933 г. в Лонг-Биче с принятием закона Филда–Рили законодательными органами штата. Этот закон требует, чтобы здания школ и других общественных сооружений удовлетворяли определенным требованиям в целях сейсмической безопасности. С тех пор законодательные органы приняли множество законов, относящихся не только к школам, но и к больницам, плотинам и мостам.

Инженерно-сейсмологические требования в калифорнийских строительных нормах основаны на рекомендациях, разработанных Калифорнийской ассоциацией инженеров-строителей, которая регулярно обновляет свои требования в свете новейших исследований и опыта последних землетрясений. Калифорния лидирует в вопросах инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства, и требования сейсмостойкости в ее нормах обычно принимаются и другими штатами (и даже другими странами) с модификациями, соответствующими местным условиям.

### Укрепление существующих зданий

Даже если мы улучшаем наши строительные нормы и проектируем новые сооружения по более высоким стандартам, мы не должны забывать, что наибольший риск для общества несут сооружения, воздвигнутые много лет тому назад. В наших городах имеется большое число зданий высотой от одного до десяти этажей, построенных из неармированного кирпича, подгнившего дерева или слабого бетона. Такие здания можно найти в старой части Сан-Франциско, особенно в китайском квартале, и старых районах в центре Лос-Анджелеса. Центральный район Коалинги до землетрясения мая 1983 г. состоял в основном из таких зданий, и это же относится к центральным частям многих других городов страны.

В таких домах иногда находятся дешевые, многонаселенные квартиры. Стоимость же перестройки и укрепления этих «ждуших беду» зданий непомерно высока. Кто оплатит эти расходы? Владельцы зданий?

Общественность? Где будут находиться жильцы во время этих работ? Смогут ли они вернуться в эти дома, или квартплата поднимется настолько, что они будут уже не в состоянии здесь жить? Инженеры-антисеймики помогут решить технические проблемы укрепления таких зданий, но решение более сложных социально-экономических проблем остается за обществом.

Немногие общественные и частные организации задумываются об опасности, которую представляют собой эти старые постройки. Совет города Лос-Анджелеса после десятилетних дебатов принял в 1981 г. постановление, требующее укрепления некоторых старых зданий. Постановление касается всех зданий из неармированного кирпича, построенных до 1934 г., за исключением обособленных жилых зданий, имеющих менее пяти квартир. Если перестройка многонаселенных зданий не будет завершена в течение трех лет, они подлежат сносу. Однако, если их стены в течение одного года будут закреплены наложенными поясами, полное укрепление можно растянуть на семь лет. Принятие этого постановления плюс разрушение центра Коалинги убеждает другие города в необходимости проведения подобных же мероприятий. В таком постановлении нуждается и Сан-Франциско. Но несмотря на существование в городе более 10 000 старых неармированных кирпичных зданий, многие из которых используются под жилье, мало надежд на то, что это произойдет в ближайшее время. Минимальным первым шагом было бы требование вывешивать предупреждения об опасности у входов в эти здания, чтобы пользующиеся ими люди были осведомлены о существовании опасности и могли требовать определенных действий.

Частные владельцы не должны дожидаться новых законов, чтобы начать действовать. Двадцать лет тому назад Станфордский университет начал осуществлять план укрепления своих старых зданий в так называемом Четырехугольнике. Расходуя ежегодно миллионы долларов, он перестроил одно за другим старые здания из песчаника. После реконструкции внешний вид зданий остался прежним, но внутри они были укреплены стальными или железобетонными рамами. Компания IBM потратила значительные суммы для защиты своих зданий и ЭВМ в Сан-Хосе; в настоящее время она разрабатывает новую систему основания под ЭВМ, способную противостоять воздействию землетрясений.

Китайская Народная Республика начала осуществлять крупную программу укрепления старых зданий. Когда в 1980 г. мы посетили Китай для обмена информацией по инженерной сейсмологии и сейсмостойкому строительству, то увидели некоторые примеры применяемых ими методов. Одна схема состоит в опоясывании кирпичного здания системой из железобетонных балок и колонн, как бы заключающих здание в клетку. На уровне каждого этажа устанавливаются стержни, проходящие сквозь все здание от одной наружной стены до другой. Концы стержней крепятся к вновь установленным балкам. Такая система стягивает все здание и должна предохранить его от обвалов, подобных тем, которые случились с тысячами зданий во время Таншаньского земле-



Старое кирпичное здание в Китае укреплено снаружи железобетонной рамой. Рама связана с внутренними частями здания при помощи сквозных металлических стержней. Такие рамы должны предохранить здание от полного обрушения, какое случилось в Таншане, где погибло множество людей. Фото авторов.

трясения 1976 г. При этом часть кирпичей все же может вывалиться внутрь или наружу, однако такие повреждения не вызовут обрушения здания в целом. Ко времени нашего визита в Китае было перестроено таким образом более 70 млн. м<sup>2</sup> жилой площади и выполнение программы продолжалось.

Значение укрепления зданий было недавно продемонстрировано в Алжире. После Орлеанвильского землетрясения 1954 г. город был перестроен, а многие поврежденные дома укреплены. Перестроенный город назвали Эль-Аснам. Когда в октябре 1980 г. новое сильнейшее землетрясение поразило Эль-Аснам, перестроенные здания хорошо перенесли его, хотя город сильно пострадал и были разрушены многие слабые постройки. Теперь восстановление будет вестись на более высоком уровне, а город вновь получил новое имя Эш-Шелифф.

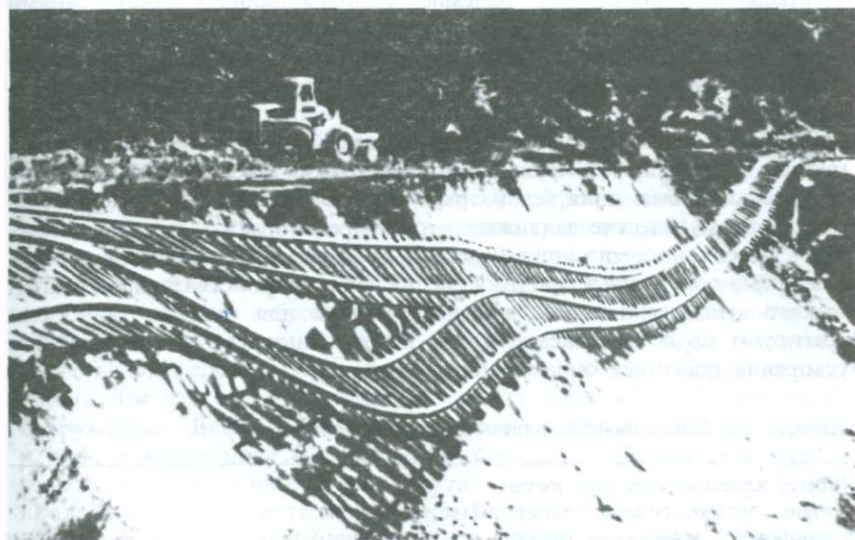
Главная задача при укреплении существующих зданий — скрепить стены, перекрытия и крышу так, чтобы они вели себя как единое целое; здание можно сравнить с картонной коробкой, которую можно отбросить, но не разбить на части. Если по китайскому методу вокруг существующего здания возводится железобетонная или стальная рама и делаются сквозные связи, удается предотвратить обрушение старой постройки. Такое укрепление обходится не очень дорого, однако внеш-

ний вид здания ухудшается. Если вид здания имеет существенное значение, арматура усиления должна быть встроена в здание и может остаться невидимой, но в этом случае стоимость перестройки уже будет чрезвычайно высокой. Такие методы приходится применять для исторических памятников, которые необходимо сохранить в их первоначальном виде.

Менее очевидную, но тем не менее серьезную опасность для старых зданий представляют всевозможные украшения. Многие старые сооружения имеют декоративные фасады, скульптурные украшения и карнизы, которые могут обламываться и падать на землю. Парапеты, навесы и вывески таят ту же опасность. Падающие обломки могут блокировать входы, затруднять спасательные работы и, конечно, падать прямо на головы людей. Во многих городах, включая Сан-Франциско и Лос-Анджелес, приняты «парапетные декреты», которые требуют удаления или укрепления всех подобных опасных деталей зданий. Однако можно ожидать, что соблюдать такие декреты будет трудно, так как домовладельцы не захотят тратить на это деньги.

### Системы жизнеобеспечения

Допустим, вы только что пережили сильнейшее землетрясение. Сотрясения наконец прекратились, и вы осознали, что остались невредимы. Вылезая из-под стола, вы слышите призывы раненых. Оказав первую по-



Исключенные железнодорожные пути повисли в воздухе, когда во время землетрясения 1965 г. в Олимпии, шт. Вашингтон (магнитуда 6,6), склон холма под ними сполз вниз. [С разрешения Калифорнийского университета, Беркли.]

мощь и устроив их поудобнее, вы бросаетесь к телефону, чтобы вызвать скорую медицинскую помощь. Но телефон молчит, возможно, из-за повреждения кабеля. На счастье появляется спасатель с двусторонней радиосвязью. Он вызывает станцию скорой помощи, но получает ответ, что ваш район отрезан, так как заблокированы дорога и подступы к ней. Тем временем вы чувствуете запах газа. Когда вы хотите перекрыть главный кран, используя припасенный для этого ключ, вы видите, что газовые трубы повреждены в нескольких местах и газ кое-где уже загорелся. Вы хватаете шланг и хотите пустить воду, однако вместо струи появляются лишь капли воды, потому что водопровод где-то прорван и в нем упало давление. Последний удар настигает вас, когда вы видите, что лопнула канализация, на улице перед вашим домом выступила вонючая вода и вам лучше не пользоваться туалетом.

В этом печальном, возможно, несколько драматизированном сценарии есть много реалистических черт. Течение нашей повседневной жизни очень сильно зависит от существования общественных систем жизнеобеспечения, которые включают линии транспорта, водоснабжение, канализацию, газоснабжение, электричество и средства связи. Их нарушения в результате последних землетрясений показали всю их важность, и в настоящее время ведутся многочисленные исследования по обеспечению их бесперебойной работы.

Очень важно уметь блокировать пожары. Память о колоссальном пожаре 1906 г. в Сан-Франциско еще жива в районе залива. Из-за поврежденных магистралей не было воды для борьбы с огнем. Лишь позднее в городе было сооружено подземное водохранилище с ответвлениями на многие улицы, и эта система водоснабжения действует до сих пор. Из 99 300 погибших при Токийском землетрясении 1923 г. гибель многих была вызвана быстрым распространением пожаров, державших город в огне в течение многих дней.

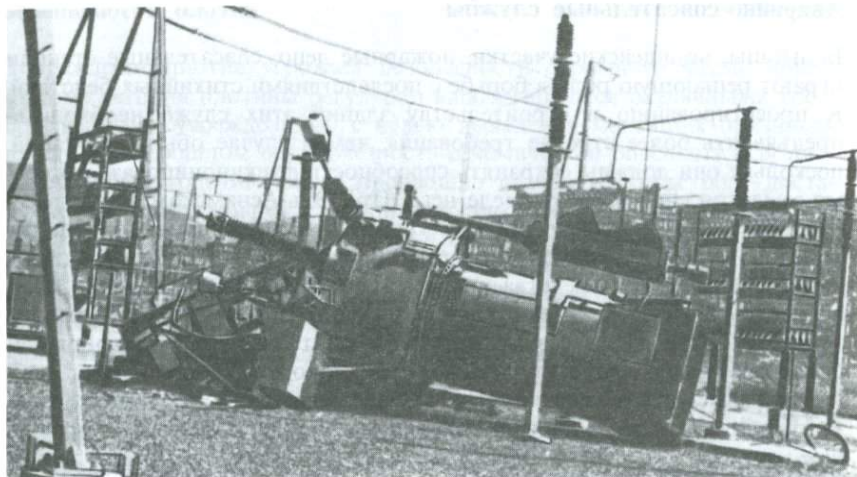
Трубопровод можно защитить установкой гибких соединений в тех местах, где трубы пересекают разломы. Такие соединения допускают значительные смещения без разрыва линии. Могут быть установлены также автоматические задвижки, чтобы предотвратить падение давления в трубах, подвергающихся действию больших ускорений. В настоящее время поступили в продажу специальные устройства для автоматического отключения газа, предназначенные для частных лиц; они реагируют на сотрясение грунта и перекрывают газ, когда величина ускорения достигает определенного предела.

Таблица 7.2. Общественные линии жизнеобеспечения

---

Шоссе, железные дороги, мосты
Линии электропередачи, трансформаторные будки
Газопроводы и насосные станции для природного газа
Кабели, столбы, подстанции телефонной сети и других средств связи
Водопроводы, водные резервуары, насосные станции и каналы водоснабжения
Канализационные трубы и приемные устройства для сточных вод

---



Оборудование на конверторной станции Силмар, опрокинутое при землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо. При этом землетрясении убытки от повреждения оборудования превысили убытки от повреждения самих зданий. Фото Т.Л. Юда. [С разрешения Геологической службы США.]

Администрация федеральных автострад и Калифорнийский отдел транспорта выпустили технические правила по безопасности существующих мостов и пешеходных переходов при землетрясениях. Многие переходы в Калифорнии уже перестроены для предотвращения их обрушения при землетрясении, однако сотни других еще ждут внимания.

Уязвимость оборудования электропередач стала очевидной при землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо. Центральные распределительные участки и подстанции подверглись сильному повреждению. В ходе значительной работы по их развитию, проведенной компаниями по газо-, водо- и электроснабжению совместно с университетскими специалистами и правительственными учреждениями, многие распределительные площадки были перепроектированы и перестроены с включением сейсмостойких элементов. Интересная схема, испытанная в Калифорнии, состояла в установке *виброизоляторов* под наиболее ответственными элементами – прерывателями тока и переключателями. Такие изоляторы представляют собой резиновые подушки, отделяющие оборудование от грунта, так что сильные колебания грунта лишь частично передаются сооружению. Действие виброизоляторов подобно действию рессор и шин, изолирующих пассажиров в повозке от неровностей дороги.

В сложившихся населенных пунктах линии жизнеобеспечения давно проложены, и стоимость их улучшения огромна; любое их укрепление или приспособление к землетрясениям займет много лет. Зато новые устройства должны становиться все надежнее по мере того, как улучшаются инженерные знания о поведении систем жизнеобеспечения и совершенствуются методы управления этими системами.

## Величайшая сейсмическая катастрофа современности

Рано утром 28 июля 1976 г., в 3 ч 42 мин местного времени, прямо под Таншанем, городом с населением около миллиона человек, расположенным в 160 км прямо на восток от Пекина, произошло землетрясение с магнитудой 7,8. Весь город сравнялся с землей, погибло 243 000 человек. Пострадали не только дома — были обрушены мосты, искривлены железнодорожные пути, перевернуты поезда, повреждены автострасы, свалены заводские трубы, разорваны трубопроводы, нарушены плотины. Экономический ущерб составил около 3 млрд. юаней (2 млрд. долл.).

Землетрясение ощущалось во всех направлениях по крайней мере на протяжении 800 км. В Тяньцзине (центре провинции, примерно в 110 км к юго-западу от Таншаня), в Пекине и многих других городах миллионы людей тотчас же выскочили из своих домов наружу, чтобы не пострадать при последующих толчках. Американские туристы, выбежавшие из отелей в Пекине, рассказывали, что китайцы были хорошо подготовлены к эвакуации зданий и каждый двигался быстро и проворно.



Более тысячи студентов и преподавателей Таншаньского института горного дела и металлургии погибло при землетрясении 1976 г. Уцелевшие соорудили временные аудитории под навесами (на заднем плане), и занятия продолжались. На переднем плане — разрушенное здание библиотеки. Фото авторов.



Люди, пережившие Таншаньское землетрясение, сооружали из обломков зданий временные укрытия. Несколько сотен тысяч человек ютилось в таких жилищах, пока не было завершено восстановление города. Фото авторов.

Сильнейший афтершок произошел в тот же день в 18 ч 45 мин всего в нескольких километрах от утреннего главного толчка. Его магнитуда была равна 7,1. В Таншане это новое землетрясение разрушило то немногое, что уцелело при предыдущем. Потери были столь огромны оттого, что практически ни одно здание в Таншане не было сейсмостойким. В наиболее распространенном типе конструкции использовались неармированные кирпичные стены, которые быстро развалились при сотрясениях.

В городе были разрушены все четыре больницы, и тяжело раненных приходилось эвакуировать в другие города. Военские части воздвигли временные укрытия для медицинского персонала и раненых. Весь город был орошен с вертолетов и самолетов дезинфицирующими средствами для предупреждения эпидемий. Страх перед эпидемиями был оправдан, так как на извлечение тысяч трупов из-под развалин требовалось время.

Вскоре было восстановлено воздушное сообщение, но все железные дороги были повреждены и некоторое время не могли использоваться. Серьезной проблемой стало водоснабжение, так как были разорваны многие водопроводные магистрали. Один из уцелевших рассказывал нам, что он два дня оставался без воды. Пока чинились трубы, были установлены дизельные насосы для подачи воды из колодцев и скважин. В течение 10 суток питьевую воду развозили на военных грузовиках. Грузовики доставляли во-

ду даже из Пекина и Тяньцзиня. Число пожаров после землетрясения было небольшим, главным образом потому, что дома были в основном кирпичными и в городе не было газоснабжения.

Сегодня Таншань основательно перестроен по новому генеральному плану с учетом новых строительных норм. Реконструкция Таншаня была одним из величайших строительных мероприятий и включала возведение не только домов для миллиона человек, но и строительство новых дорог, мостов, системы канализации, заводов, электростанций, школ, магазинов и всех остальных сооружений, необходимых крупному городу.

После постройки плотины необходимо контролировать наполнение и разгрузку водохранилища, с тем чтобы свести к минимуму наведенную сейсмичность, т.е. возникновение землетрясений, порожденных самим водохранилищем. Желательно также осуществлять контроль за развитием территории, чтобы ограничить число людей, которым разрешено жить в зоне возможного затопления ниже плотины. Если население будет немногочисленным, легче проводить его эвакуацию, а в случае, если действительно произойдет авария, число жертв будет меньшим.

Водоохранилище Кристал-Спрингс на полуострове Сан-Франциско — одно из крупнейших водохранилищ в зоне залива Сан-Франциско. Оно подпирается нижней плотинной Кристал-Спрингс — бетонной гравитационной плотинной, сооруженной в 1890 г. и пережившей Сан-Францисское землетрясение 1906 г. без заметных повреждений, несмотря на то что разлом Сан-Андреас проходит через середину водохранилища. Ее безопасность исключительно важна, поскольку в зоне затопления живут и работают тысячи людей. Плотина и ее скальное основание тщательно исследовались в последнее время, и результатом было обнадеживающее заключение о том, что плотина способна пережить еще одно землетрясение с магнитудой более 8,0.

Для калифорнийцев представляет большой интерес и плотина Оберн на р. Американ, в 50 км к северо-востоку от Сакраменто. Первоначально она проектировалась в виде бетонной арочной конструкции высотой 208 м и длиной 1260 м и должна была стать крупнейшей плотинной в мире. Строительство основания началось в 1974 г., когда еще не предполагалось, что землетрясения могут угрожать западным предгорьям Сьерра-Невады. Однако в августе 1975 г. произошло землетрясение с магнитудой 5,9 вблизи плотины Оровилл, в 60 км от места, выбранного для плотины Оберн. Общественность была обеспокоена безопасностью плотины, особенно из-за того, что население зоны возможного затопления составляло три четверти миллиона человек, и строительство было приостановлено вплоть до завершения новых геологических исследований. К моменту приостановки строительства на подготовку основания плотины было уже затрачено почти 100 млн. долл. И как всег-

да бывает, если что-то искать специально, в окрестностях плотины был обнаружен сейсмоопасный разлом. Было решено изменить конструкцию плотины и вместо арочной плотины в качестве альтернатив стали рассматривать каменно-набросную и бетонную гравитационную плотины. Однако пройдут годы, прежде чем будет достигнуто соглашение по новым планам, и даже возможно, что плотина будет перенесена в другое место.



На этом снимке, сделанном в южном направлении от Дейли-Сити, видно, как разлом Сан-Андреас пересекает оз. Сан-Андреас (А) и выходит в Тихий океан в оползневой зоне (В). Школа (С) размещается прямо на разломе. Некоторые дома, оказавшиеся на гребне оползня, были сорваны, и их пришлось снести (уже после того, как был сделан этот снимок). В будущем застройка непосредственно на разломе будет, вероятно, запрещена. Фото Р. Э. Уоллеса. [С разрешения Геологической службы США.]

## Общественное и индивидуальное планирование

*Послышался какой-то тяжелый скрежет, точно кирпичные дома терлись друг о друга боками... Пытаясь удержать равновесие на уходящей из-под ног мостовой, я вдруг увидел необыкновенную картину: весь фасад высокого четырехэтажного кирпичного здания на Третьей улице распахнулся наружу как дверь и рухнул плашмя поперек улицы.*

Марк Твен. «Налегке». Собр. соч. в 12 томах, т. 2.— М.: Гослитиздат, 1959.

Никто не может сказать в точности, как спланировать подготовку к землетрясениям; однако, если вы немного разобрались в их природе, вы окажетесь в состоянии выработать разумные решения. Большинство людей, строя свои планы, задается вопросами такого рода:

Ожидается ли в будущем сильное землетрясение? Что случится с нашим населенным пунктом? Должен ли я сделать что-то, чтобы уберечь свое имущество? Их интересуют также вопросы ограничений в строительстве, государственной помощи при катастрофах, страхования от землетрясений. Эти вопросы обсуждаются в данной главе, а следующая глава посвящена вопросам непосредственной индивидуальной подготовки к землетрясениям.

### **Будет ли еще одно сильное землетрясение?**

Калифорнийцы чаще всего задают именно этот вопрос. Ответ, конечно, гласит «да», потому что сильные землетрясения в Калифорнии неизбежны. Это понял уже Марк Твен, когда он брел по Третьей улице в Сан-Франциско в 1865 г. Много лет прошло со времени последних крупных землетрясений на разломе Сан-Андреас (происшедших в 1906 г. в северной Калифорнии и в 1857 г. в южной Калифорнии). В последующие годы разлом оставался «запертым» — это значит, что на нем не происходило высвобождения деформаций. Однако Северо-Американская и Тихоокеанская плиты неумолимо продолжали проворачиваться одна относительно другой со скоростью около 6 см в год, и, следовательно, в породах накопились значительные напряжения, способные хоть сегодня внезапно сместить их вдоль разлома на 3–6 м.

Согласно надежным научным оценкам, вероятность того, что в течение ближайших 30 лет в Калифорнии произойдет сильнейшее землетрясение с магнитудой 7,5 или больше, составляет 50%. Наиболее вероятным местом следующего сильнейшего землетрясения является



Магазины вдоль Университетской улицы в Пало-Альто после землетрясения 1906 г. Фото У. К. Менденхолла. [С разрешения Геологической службы США.]

южная Калифорния, потому что там сильного землетрясения не было на 50 лет дольше, чем в северной Калифорнии. Подобные вероятностные оценки не могут считаться предсказаниями: они не говорят нам, когда случится следующее землетрясение и где оно произойдет. Но зато они говорят о том, что миллионы людей, живущих сегодня в Калифорнии, обязательно пострадают от сильного землетрясения, и поэтому они должны соответствующим образом планировать свое будущее.

Крупнейшие землетрясения в США не обязательно привязаны к разлому Сан-Андреас. «Знатное землетрясение» с магнитудой 8,5, описанное Джоном Мьюэром (стр. 102), произошло в Оуэнс-Валли, к востоку от Сьерра-Невады. Многие другие землетрясения за последние 175 лет отмечены в Неваде, на Аляске, на Гавайях и в центральной части долины реки Миссисипи. И хотя теоретически возникновение сильнейшего землетрясения возможно в любом штате и в любое время, в большинстве районов вероятность их настолько мала, что ее вообще не следует учитывать в повседневной жизни. Землетрясения средней величины (с магнитудой от 5,5 до 7,5) происходили в штатах Айдахо, Монтана,

Нью-Йорк, Южная Каролина, Техас, Юта, Вашингтон и Вайоминг, а слабые землетрясения происходят практически в каждом штате. В среднем в США ежегодно происходит около 400 землетрясений, достаточно сильных для того, чтобы причинить повреждения зданиям (хотя бы и самые незначительные).

### **Что станет с моим домом и с нашим районом?**

Планирующие органы всех уровней пытаются ответить на этот вопрос на основе инженерно-сейсмологических исследований и детального изучения воздействия землетрясений на различные населенные пункты. Оценка потерь при теоретических землетрясениях была выполнена для районов Лос-Анджелеса и залива Сан-Франциско; результаты приведены в табл. 1.1. Ошеломляющие оценки числа погибших, раненых и материального ущерба подчеркивают необходимость разумного планирования для уменьшения ожидаемых потерь.

Повреждения индивидуального домовладения могут варьировать от небольших трещин в стенах до перекоса или опрокидывания всего дома. Разбитые стекла, перекошенные дверные коробки с заклинившимися дверями, трещины в кирпичной кладке, трещины в фундаменте — все это довольно обычно. Часто сваливаются или отходят от конструкций печные трубы — этого можно избежать, если трубы армированы стальными стержнями и притянуты металлическими полосами к перекрытиям<sup>\*)</sup>. Старый дом может не быть скреплен с фундаментом анкерными болтами и в результате во время землетрясения может быть сорван с фундамента. В таких случаях ремонт, включающий восстановление водопровода, подводки газа, электричества и канализации, обходится в немалую сумму. Более новые дома, как правило, хорошо закреплены, но, чтобы убедиться в этом, вам придется забраться под дом и проверить опоры у основания наружных стен. Если дом закреплен должным образом, вы заметите это по головкам болтов, поставленных через каждые 1,2–1,8 м.

Дома, расположенные на склонах холмов в зоне разлома, при землетрясении могут быть полностью разрушены, особенно если из-за дождей грунт насыщен водой. Профилактические меры в таких случаях исключительно дороги, и при этом нет гарантии, что они смогут уберечь склон холма от оползания. На плоских низменных участках, в особенности поблизости от водоемов, возникает опасность разжижения и просадки грунта; при этом повреждения опять-таки могут варьировать от небольших трещин до полного разрушения дома. Конечно, и дома, расположенные прямо на линии разлома, где вспарывание может дойти до поверхности Земли, могут быть разрушены полностью.

При всех этих опасностях, подстерегающих домовладения, относительно надежной конструкцией для индивидуальной застройки остается деревянный каркасно-щитовой дом. Такие дома могут быть сильно де-

<sup>\*)</sup> Еще эффективнее применение асбоцементных дымоходов.—Прим. перев.



Крыши и стены многих старых кирпичных зданий обрушились при землетрясении 1983 г. в Коалинге. Фото авторов.

формированы и перекошены, но не обрушиваются, и серьезные травмы их обитатели получают редко. Это, в частности, стало ясно после землетрясения в Коалинге в мае 1983 г., при котором оказались сильно повреждены несколько сотен зданий. Мы обследовали те из них, которые были сброшены со своих фундаментов или сильно перекошены; их обитатели пережили дикую встряску («как на взбрыкивающей необъезженной лошади» — по выражению одного из них), но отделались царапинами и ушибами. Чаще всего жителям деревянных каркасно-щитовых домов угрожают падающие предметы, опрокидывающаяся мебель и сдвигающиеся холодильники.

Для обычного городка основной вид тяжелых разрушений — обрушение старых зданий со слабой, плохо армированной или неармированной кладкой из некачественного кирпича или камня. В Коалинге, например, центральная торговая часть города состояла из таких зданий. Здесь обрушились стены и крыши, завалив внутренние пространства и внешние проходы горами битого кирпича и обломков. Перестройка таких населенных пунктов длится годами, и население в это время страдает от экономических затруднений и безработицы. Единственное, чем здесь можно помочь, — это укрепить или перестроить такие дома заранее, и в некоторых городах уже поступают именно так. Эти усилия особенно ценны — их результаты наглядно свидетельствуют о том, что хорошо построенные дома переносят землетрясения лишь с небольшими повреждениями. Мы обследовали одно сравнительно новое железобетонное

здание в центре Коалинги и убедились, что в нем возникли лишь небольшие трещины, в то время как старые кирпичные здания по обе его стороны были превращены в груды развалин.

### **Как мне позаботиться о моем доме?**

Каждый домовладелец должен знать, какой вид геологической опасности угрожает его собственности. Одно из очевидных дел – оценить положение здания по отношению к разлому, в особенности активному. Последние особенно опасны, но даже и разломы, считающиеся неактивными, могут вспороться ко всеобщему изумлению (именно это произошло с разломом, проявившимся при землетрясении в Коалинге).

Не следует забывать и о других видах опасности, включая оползни и разжижение грунта. Геологическая служба США и Калифорнийское отделение горных работ и геологии составили карты с обозначением районов, подверженных этой угрозе. Если вы находитесь в таком районе, меры предосторожности должны включать укрепление зданий, установку подпорных стенок, закачку известкового раствора в слабые грунты и устройство дренажа. Если вы задумываетесь о таких мероприятиях, вам следует в зависимости от существа проблемы получить консультацию инженера-строителя или инженера-геолога.

В некоторых случаях укрепление дома обходится недорого; к примеру, деревянный каркас можно прикрепить болтами к фундаменту, добавить связи между балками и столбами, а трубы притянуть к каркасу. Однако, если для установки скреп надо разбирать стены и потолки, это будет стоить немалых денег. Подобные операции широко применялись при перестройке здания Капитолия штата в Сакраменто и Станфордского Четырехугольника. Если вы хотите определить, в каком состоянии находится ваше здание и в чем должны состоять меры по его усилению, вам следует проконсультироваться у инженера-строителя, знакомого с этим видом работ.

### **Сейсмическое районирование и микрорайонирование**

Необходимость определенного контроля за использованием земель под застройку в сейсмичных районах очевидна; гораздо труднее выработать соответствующее законодательство. Когда представители власти говорят землевладельцам о том, что именно следует или чего не следует делать, очень легко возникают противоречия. Каждый городской совет и каждая комиссия по планированию знают, какие трудности возникают при попытке разрешить классический конфликт между правами личности и правами общества. В сейсмичных районах возникают такие проблемы: какие ограничения следует наложить на строительство в районах, непосредственно прилегающих к активным разломам или отличающихся слабыми грунтами, на оползневых участках или участках возможного разжижения, в зонах возможного затопления или прорывах

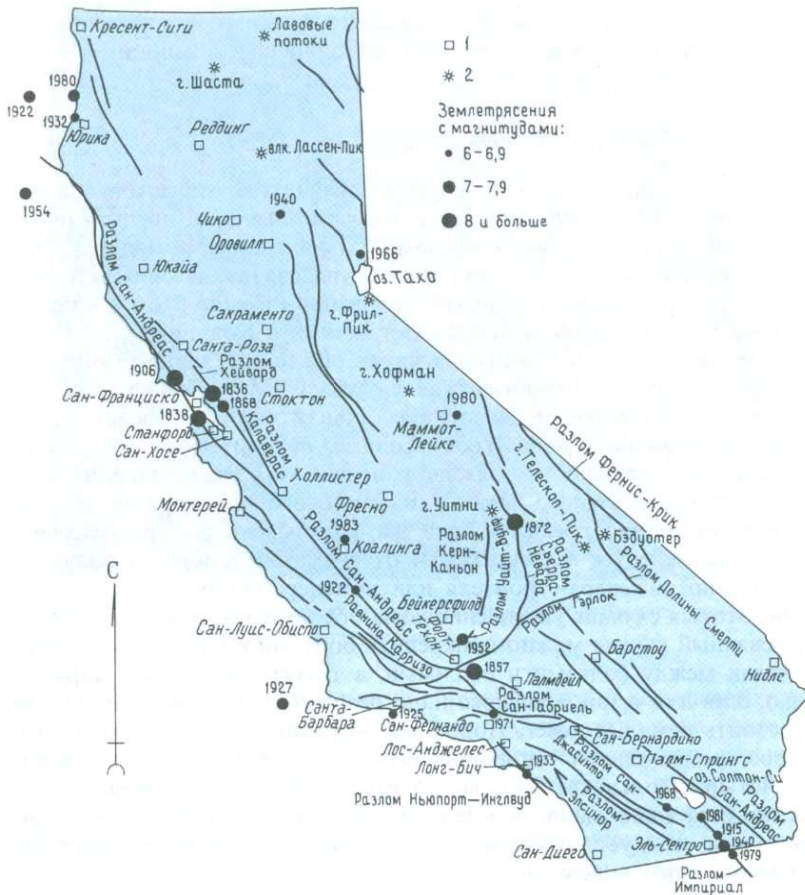


Рис. 8.1. Важнейшие разломы и землетрясения Калифорнии. 1—города и поселки; 2—основные горные вершины и другие природные объекты.

плотин? Если в таких зонах разрешить нерегулируемое строительство, вероятность убытков и жертв при землетрясениях возрастет, создавая дополнительное бремя дляцелевшего населения.

Работа по районированию начинается с исследования источников геологической опасности. Строятся карты, на которых указывается расположение сейсмоактивных разломов и эпицентров прошлых землетрясений. Далее выявляются оползневые зоны, участки возможного разжижения и проседания грунтов, зоны возможного затопления в случае обрушения плотин, а также низменные участки берегов, подверженные действию цунами. Вся эта информация изображается на картах, которые можно получить в Геологической службе США и у администрации округов.



Торговый центр в Сан-Фернандо был так сильно поврежден землетрясением 1971 г., что его пришлось снести. Фото Р.Э. Уоллеса. [С разрешения Геологической службы США.]

Пользуясь этой информацией, планирующие организации должны решать, какие ограничения следует наложить на строительство в опасных зонах. Крайняя мера — запретить всякое строительство в определенной зоне, которая тем не менее может быть пригодной для организации отдыха — здесь можно разбить парки, палаточные городки, зоны отдыха, сопряженные с минимальной опасностью или вовсе безопасные. В некоторых ситуациях строительство не запрещается, но на него накладываются определенные ограничения. В частности, в таких зонах исключается строительство больниц, школ и других важных зданий, предъявляются жесткие требования к типу их конструкций и накладываются ограничения на этажность. Кроме того, к зданиям, разрешенным к строительству в опасных зонах, могут предъявляться и дополнительные инженерные требования по сравнению с такими же зданиями, возводимыми в обычных местах.

### Помощь при катастрофах

Ущерб, причиненный землетрясениями в США, до последнего времени был относительно мал по сравнению с ущербом от наводнений, ураганов и смерчей, однако такая ситуация вряд ли сохранится в будущем. Рост населения, особенно в западных штатах, приводит к тому, что сегодня опасность убытков и жертв от землетрясений превышает возмож-



При землетрясении 1964 г. обрушилась наблюдательная башня в международном аэропорту Анкориджа, примерно в 120 км от эпицентра. Один человек погиб, один ранен. Фото Федерального управления авиации. [С разрешения Геологической службы США.]

ность убытков и жертв от природных катастроф любого другого вида. В 1974 г. конгресс США принял «Федеральный закон о помощи при катастрофах», обеспечивающий помощь государства при наиболее тяжелых стихийных бедствиях. Этот закон предусматривает ассигнования на ремонт и восстановление общественных средств жизнеобеспечения, а также помощь населению в виде предоставления временного жилья, займов под низкие проценты и безвозвратных субсидий. В первую очередь должно восстанавливаться общественное достояние; индивидуальная помощь предусмотрена лишь за счет неиспользованных фондов. Условия правительственной (федеральной) помощи тщательно оговорены, и фонды определяются решением президента. Насколько хороша эта система для применения в целях широкой и длительной реконструкции, покажет будущее. В настоящее время органы местного самоуправления не вполне представляют себе, какого рода помощь и в каком объеме может ожидать от федерального правительства. Указанный закон был направлен также на развитие мер по уменьшению потерь путем проведения микрорайонирования опасных территорий и улучшения строительных норм. Другие виды правительственной помощи включают выдачу специальных талонов на питание и снижение налогов.

Закон 1977 г. «О мерах по уменьшению опасных последствий землетрясений» был следующей попыткой уменьшить сейсмическую угрозу для жизни и имущества. Федеральное правительство учредило Федеральное управление по мерам безопасности, на которое возложены обязанности по организации правительственной помощи до и после землетрясений. Этот закон предусматривает тесное сотрудничество между федеральным правительством и административными органами штатов, округов и городов, необходимое для достижения поставленных целей. С момента принятия этого закона федеральное правительство обеспечивает руководство в следующих направлениях:

- планирование действий при катастрофах и разработка мер безопасности;
- предсказание землетрясений;
- оценка сейсмического риска;
- утверждение строительных норм и правил;
- уменьшение опасности для существующих зданий и служб;
- безопасность ответственных сооружений;
- программы подготовки населения;
- изучение землетрясений и их последствий в рамках международного сотрудничества.

С момента принятия этих двух законов в США еще не было сильных землетрясений, и трудно сказать, насколько эффективными окажутся они для уменьшения потерь при землетрясениях.

### Страхование на случай землетрясения

Ввиду той неопределенности, которая окружает вопрос об общественной финансовой помощи лицам, пострадавшим от землетрясения, более разумнее всего рассмотреть возможность защиты ваших имущественных интересов путем страхования. Страхование от землетрясений впервые стало возможным в Калифорнии спустя десять лет после землетрясения 1906 г. в Сан-Франциско. В течение многих лет, несмотря на сравнительно низкий уровень страховых взносов (около 40 центов на каждые 1000 долл. суммы страхования с 5%-ным вычетом), страховкой пользовалось очень мало людей<sup>\*)</sup>. Возможная причина крылась в заблуждении, будто другие виды страхования возместят потери, связанные с землетрясениями, а также в том, что страховые компании не прилагали усилий к пропаганде такого страхования. К моменту землетрясения в Санта-Барбаре (1925 г.) было выдано не так уж много страховых полисов на случай землетрясения, и страховым компаниям было предъявлено мало страховых притязаний. После землетрясения 1971 г. в Сан-Франциско (оно принесло убытков на сумму почти 500 млн. долл.) было предъявлено страховых притязаний на сумму всего около 12 млн. долл.

<sup>\*)</sup> Страхование строений, принадлежащих гражданам СССР, проводится по одному полису от всех возможных рисков, в том числе и от землетрясений, на более льготных условиях. – *Прим. ред.*

## Спасательные работы при землетрясении: Эль-Аснам, Алжир

Исследовательская группа Центра сейсмостойкого строительства и инженерной сейсмологии им. Дж. А. Блюма Станфордского университета под руководством проф. Х. Ч. Шаха с 1976 г. сотрудничала с правительством Алжира по вопросам, связанным с землетрясениями. В 1978 г. исследователи из Станфорда выполнили анализ сейсмической опасности Алжира; при этом было установлено, что в районе Эль-Аснама существует наибольшая вероятность возникновения нового крупного землетрясения. Вслед за тем 10 октября 1980 г. примерно в 1 ч 30 мин пополудни в Эль-Аснаме произошло землетрясение с магнитудой 7,3. На следующий день в Станфорд поступила просьба правительства Алжира о технической помощи. Проф. Шах и два студента-дипломника тотчас же вылетели в Алжир и прибыли туда на следующее утро. В их задачу входило помочь правительству Алжира в оценке ущерба, причиненного зданиям и сооружениям.

```

001 001 001 001
STANFORD STUN
URGENT
*****
001 001 001 001
TEL NO. 7096
PROF. HAROLD TOWH
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
STANFORD UNIVERSITY
STANFORD CALIFORNIA
001 001 001 001
EARTHQUAKE EPICENTER 50 KM NORTH OF EL ACHEN MAGNITUDE 7.3
STOP
CONSIDERABLE DAMAGE STOP FEELER COME WE ARE MAKING ARRANGMENTS FOR
YOUR REACTION STOP WE ARE LOOKING FOR WAYS OF GETTING YOU A TICKET
AND FEES STOP PLEASE SEND INFORMATION ON FIRST STEPS TO BE TAKEN IN
SUCH CIRCUMSTANCES STOP
SINCERELY
BOHNEFOULTE ALGER
P. FEDERAL
*****
PLEASE CONFIRM US IF YOU RECEIPT THE TEXT*****

```

В первые же часы после землетрясения администрация Эль-Аснама начала спасательные операции. Однако размеры бедствия были настолько велики, что местные власти не могли справиться с этим самостоятельно, и спустя 24 ч после землетрясения в районе Эль-Аснама было введено военное положение. Армейские подразделения патрулировали город для предотвращения мародерства и грабежей. Все виды транспорта, даже машины скорой помощи, должны были следовать через военные контрольно-пропускные пункты. В город допускались только медицинские и спасательные команды, военный персонал и советники правительства. 125 000 уцелевших жителей были эвакуированы из Эль-Аснама и размещены в специальных палаточных городках, разбитых примерно в 5 км от города.

В течение нескольких дней продолжалось спасение людей, погребенных под развалинами, но все еще живых. Для их поиска использовались собаки, специально натасканные в Швейцарии на поиск людей, засыпанных снежными лавинами, и способные отли-

чать живых от мертвых под грудами развалин. Трупы обрызгивались специальной прозрачной, быстро твердеющей жидкостью, не мешавшей опознанию погибших, но препятствующей распространению инфекции и запаха. Уцелевшим были сделаны прививки против холеры и тифа.

Пока шли спасательные работы, инженеры обследовали состояние уцелевших зданий. Те, которые подлежали сносу силами армейских саперных команд, помечались красным цветом. Здания, пригодные для жилья, помечались зеленым, а требовавшие капитального ремонта – оранжевым.

Спустя неделю вновь заработал водопровод и было включено электричество, возобновилось движение по железной дороге и шоссе. Через две недели с чрезвычайной ситуацией было покончено. Все трупы были откопаны, а тяжело раненые перевезены в больницы вплоть до города Алжира (160 км к востоку от Эль-Аснама). Погибло более 2000 человек, около 20000 было ранено.

В настоящее время большая часть населения живет в панельных домах. Город Эль-Аснам, когда-то носивший имя Орлеанвиль, теперь переименован в Эш-Шелифф. Но доньше (1983 г.) задача превращения Эль-Аснама, города с множеством разрушенных домов и с нарушенной социально-экономической структурой, в сейсмостойкий и экономически здоровый Эш-Шелифф остается нерешенной.



Извлечение трупов из-под развалин обрушившихся зданий было медленной и изнурительной работой. Запах от разлагающихся трупов был невыносимым, бороться с ним помогала пропитка кусков ткани эвкалиптовым маслом. Фото авторов.

и лишь 23% из нее было оплачено. С тех пор число страховых полисов возросло, хотя к 1975 г. в Калифорнии было застраховано от землетрясений менее 5% домовладений. В основном страховались коммерческая и промышленная собственность, а не домовладения.

Застраховать имущество от землетрясения можно в большинстве страховых компаний, которые занимаются страхованием собственников и арендаторов от пожаров, краж и других подобных видов опасности. Страховка предусматривает оплату повреждений зданий и легких строений, обстановки, а также личного имущества, если оно пострадало непосредственно от землетрясения. Повреждения от пожаров, возникших в результате землетрясения, как правило, покрываются обычным страхованием от огня.

Страхование от землетрясений является, по существу, страхованием от больших бедствий, а не от больших потерь, и поэтому страховые полисы обычно выдаются с вычетом, который составляет либо определенный процент от страховой суммы, либо фиксированную сумму, и оплачиваются самим страхователем. Для домовладельцев и арендаторов вычет составляет обычно 5% отдельно для зданий и для обстановки. Например, если дом застрахован по этой схеме на 100 000 долл., а обстановка — на 50 000 долл., то домовладелец платит за повреждения дома при землетрясении до 5000 долл., и за повреждение обстановки — 2500 долл. Страховка при этом покрывает всю остальную стоимость повреждений в пределах страховой суммы. Многие компании требуют, чтобы страховая сумма равнялась полной восстановительной стоимости здания, как при страховке от пожара.

Размер взносов при страховке от землетрясения зависит прежде всего от положения здания, типа постройки и грунтовых условий. Сейчас Калифорния разделена на страховые зоны, в каждой из которых на основе данных о вероятности возникновения и ожидаемой силе землетрясений рассчитан свой уровень страховых взносов: наиболее низкие взносы установлены в центральной части штата, более высокие — в части береговой зоны и в Сьерра-Неваде и самые высокие — в округе Импириал в южной Калифорнии. С точки зрения типа постройки самые низкие взносы установлены для легких деревянных каркасно-щитовых домов. Величина взноса последовательно растет для зданий со стальным каркасом, каркасных железобетонных зданий с кирпичной облицовкой или кирпичным заполнением, армированных кирпичных зданий и неармированных кирпичных зданий. Особые почвенно-геологические условия могут привести к повышению взноса; например, страховка здания на насыпных грунтах может стоить на 25% больше. Конечно, в страховке многих плохо построенных или опасно расположенных зданий может быть отказано.

Обычный уровень годового взноса за страховку от землетрясения для небольших деревянных каркасно-щитовых домов, расположенных в центральной части Калифорнии не на насыпных грунтах, составляет 1,5 долл. на 1000 долл. страховой суммы с 5%-ным вычетом. В зоне с большей опасностью взнос при страховке такого домика возрастет до



Землетрясение в Лонг-Биче (1933 г., магнитуда 6,3) сорвало этот дом с фундамента. Повреждения такого типа можно предотвратить, скрепляя дом с фундаментом при помощи болтов—для старых построек это служит хорошим способом их укрепления. [С разрешения Геологической службы США.]

4 долл. на 1000 долл. страховой суммы. Для зданий с высокой степенью риска взнос может быть повышен даже до 50 долл. на 1000 долл. страховой суммы.

Удивительно, что для большинства населенных пунктов уровень страхования очень низок. Возьмем, например, округа Лос-Анджелес и Ориндж, которые расположены между активными разломами

Сан-Андреас и Ньюпорт–Инглвуд, порождающими крупные землетрясения. Сумма возможных убытков от одного крупного землетрясения оценивается здесь в 90 млрд. долл., однако имущество застраховано всего на сумму около 1 млрд. долл.

Почему же многие предприятия и частные лица не пользуются страхованием от землетрясений? Одна очевидная причина состоит в том, что страховые компании не пропагандируют такое страхование, возможно опасаясь бремени огромного числа притязаний, которые последуют за сильным землетрясением. Отдельные компании вообще отказываются страховать от землетрясений. Другая причина в том, что банки и ссудные конторы, даже в высокосейсмичной Калифорнии, не требуют от застройщиков обязательного страхования недвижимости от землетрясений (хотя они требуют страхования от пожаров). Наконец, и население, по-видимому, полагает, что после сильного землетрясения можно надеяться на помощь от федеральных властей или администрации штата. Если финансовая помощь в самом деле оказывается возможной, надо помнить, что она поступает в первую очередь в виде займов, а не безвозвратных ссуд. После землетрясения 1971 г. в Сан-Фернандо (магнитуда 6,6) федеральное правительство выделило более 250 млн. долл. на займы под низкие проценты, однако многим, обратившимся за займами, было в них отказано. После значительного более крупного землетрясения, например с магнитудой 8,0, ущерб может быть в сотни раз большим, чем в 1971 г. Маловероятно, что федеральные фонды смогут удовлетворить все просьбы о займах и других видах помощи.

#### Таблица 8.1. Страхование от землетрясений

Пример 1 (полностью застрахованный дом)

Стоимость восстановления здания = 100 000 долл.

Страховая сумма = 100 000 долл. с 5%-ным вычетом

Годовой взнос = 1,50 долл. за 1000 долл. страховой суммы, т.е. 150 долл.

	Ущерб от землетрясения			
	5%	15%	25%	100%
Сумма ущерба, долл.	5000	15 000	25 000	100 000
Сумма, покрываемая страховкой (100%), долл.	5000	15 000	25 000	100 000
Вычеты, долл.	5000	5000	5000	5000
Выплата страховщиком, долл.	0	10 000	20 000	95 000
Выплата страхователем (владельцем), долл.	5000	5000	5000	5000

#### Накопленная сумма взносов, долл.

Годовые проценты на капитал	Через 10 лет	Через 20 лет	Через 30 лет
0	1500	3000	4500
6%	2100	5850	12 600
12%	2950	12 100	40 500

*Как использовать эти данные:*

Предположим, ожидается, что дом в течение 30 последующих лет пострадает на 25%. Учтем также 6%-ный рост капитала за 30 лет. Тогда страховщик выплатит вам сумму, превышающую размеры вашего взноса (20 000 долл. против 12 600 долл.). Если, однако, ожидаемый ущерб составляет всего 5%, страховщик не заплатит вам ничего.

Чтобы решить, следует ли вам страховать от землетрясения или нет, необходимо оценить размер ожидаемого ущерба и ваши финансовые возможности.

*Пример 2 (частично застрахованный дом)*

Стоимость восстановления здания = 100 000 долл.

Страховая сумма = 80 000 долл. с 5%-ным вычетом

Годовой взнос = 1,50 долл. за 1000 долл. страховой суммы, т.е. 120 долл.

	5%	Ущерб от землетрясения		
		15%	25%	100%
Сумма ущерба, долл.	5000	15 000	25 000	100 000
Сумма, покрываемая страховкой (80%), долл.	4000	12 000	20 000	80 000
Вычеты, долл.	4000	4000	4000	4000
Выплата страховщиком, долл.	0	8000	16 000	76 000
Выплата страхователем (владельцем), долл.	5000	7000	9000	24 000
Накопленная сумма взносов, долл.				
Годовые проценты на капитал		Через 10 лет	Через 20 лет	Через 30 лет
0		1200	2400	3600
6%		1680	4680	10 100
12%		2360	9680	32 400

Типичные 5%-ные вычеты при страховании домовладений от землетрясений — еще один повод для отказа от страхования. Ущерб при землетрясениях в современных деревянных каркасно-щитовых домах обычно незначителен, поэтому шансы на то, что этот ущерб превысит сумму вычета, невелики. При землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо в 12 000 зданий, оказавшихся в зоне сильных сотрясений грунта, сумма ущерба от землетрясения составила около 6,6% полной стоимости зданий. Около 3000 построек получили повреждения в размере более 5% полной их стоимости, но только несколько зданий были разрушены на 100% и подлежали полному восстановлению. Остальные получили повреждения в размере менее 5%. Основываясь на таких данных, многие полагают, что гораздо разумнее тратить средства на усиление зданий, чем на страховые взносы.

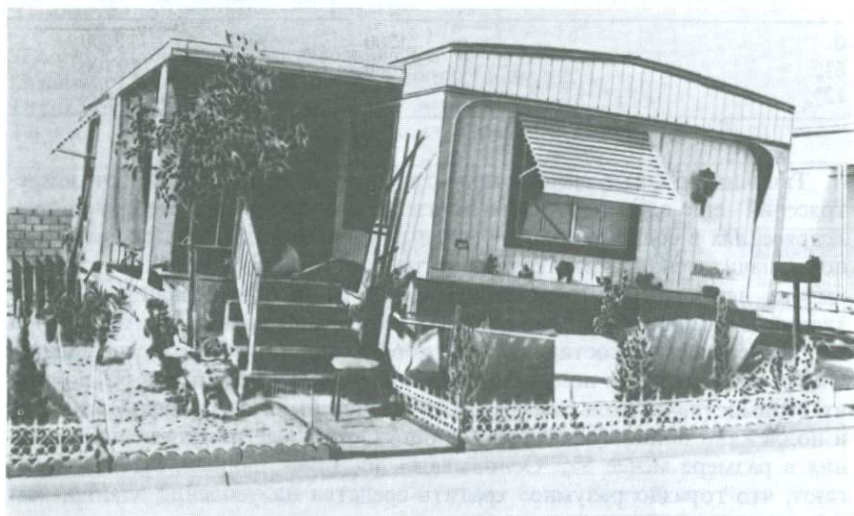
Если вы все же решитесь приобрести страховой полис, вам полезно рассмотреть следующие факторы:

— близость к активному разлому;

- сейсмическую историю района (частоту повторения землетрясений; время с момента последнего землетрясения);
- конструкцию здания (тип здания и фундамента; архитектурное решение; качество материала; качество строительных работ; уровень сейсмостойкости, предусмотренный проектировщиком);
- местные условия (тип и качество грунта; уклон территории; материал заполнения; геологическое строение подстилающих слоев; годовая сумма осадков);
- стоимость здания и находящегося в нем имущества;
- стоимость страхования и вычетов из страховых сумм;
- ваше финансовое положение и эмоциональный настрой.

Существуют методы статистических и инженерных расчетов, позволяющие произвести на основе этих факторов расчет соотношения риска и выгоды. Такие расчеты помогают прийти к правильному решению относительно страхования, однако они требуют детального и квалифицированного рассмотрения каждого отдельного здания и его местоположения.

Станфордский университет недавно подробно исследовал свои здания и угрозу, исходящую от близлежащих разломов Сан-Андреас и Хейвард. Было установлено, что сильное землетрясение может принести ущерб до 10% стоимости построек в пределах всего университетского комплекса. Восстановительная стоимость всего комплекса вместе с оборудованием составляет около 1,4 млрд. долл. Эта оценка включает не только учебную зону, но и Медицинский и Торговый центры Стан-



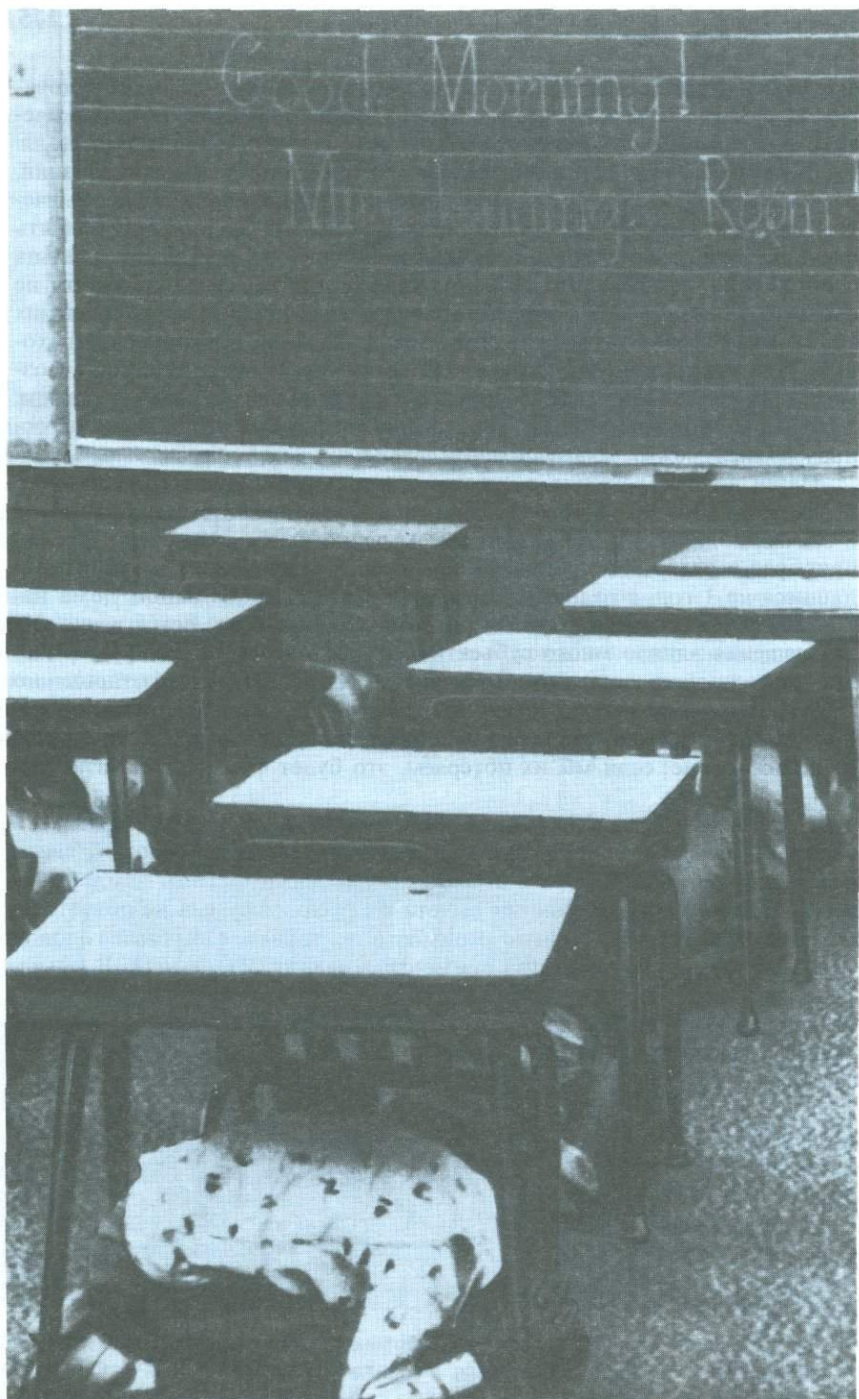
Типичные повреждения легких домиков. Этот дом был сбит с опор при землетрясении 1979 г. в Импириал-Валли. [С разрешения журнала California Geology.]

фордского университета. Университет застраховал здание и оборудование на сумму 125 млн. долларов (около 9% полной стоимости) с вычетом, равным 3% от суммы убытков, но не меньшим 3 млн. долл.

В связи с тем что университет располагает десятками зданий, расчеты основывались на общей сумме предполагаемых убытков с учетом того, что повреждения какого-либо одного здания могут быть очень велики, а другого — малы. Для индивидуального домовладельца соображения о возможном 10%-ном ущербе для населенного пункта не очень-то полезны — его дом может оказаться одним из потерпевших 100%-ный ущерб. В итоге каждому домовладельцу приходится страховать дом на полную его стоимость. Было бы интересно изучить возможность страхования населенного пункта в целом на сумму, скажем, в 10% полной суммарной стоимости построек, с тем чтобы взносы распределялись между всеми домовладельцами.

Наши личные решения о страховании таковы. Один из авторов застраховал свой дом много лет назад и продолжает выплату взносов и сейчас, полагая, что с каждым годом ценность их возрастает. Другой приобрел страховой полис в 1981 г., сравнив ожидаемые убытки, приходящиеся на 1 год, с годовыми взносами. Случайно оба наших дома находятся на расстоянии 6 км от разлома Сан-Андреас. Естественно, на эти решения влияло много субъективных обстоятельств. Например, наша профессиональная работа приучила нас к сознательному отношению к землетрясениям и, будучи инженерами, мы склонны к принятию защитных мер. (К тому же, как вы понимаете, наши дома — это основное наше достояние; если мы их потеряем, это будет финансовой катастрофой.)

Несколько месяцев назад произошло новое улучшение в области страхования от землетрясений — одна из компаний широко объявила о возможности новой формы страхования недвижимости от землетрясений. При этом страховании нет вычета и страховая сумма не обязательно должна покрывать полную стоимость постройки. Обычный годовой взнос составляет 50 долл. при сумме страхования 25 000 долл. В объявлении указывается, что этот вид страхования может покрывать расходы по оплате вычетов при обычном страховании недвижимости. Говорят, новый вид страхования становится популярным и число выданных полисов намного превысило ожидания.



## Подготовка к следующему землетрясению

*Не землетрясения убивают людей, а здания.*

Присказка инженеров-антисейсмиков

Тот, кто живет в сейсмичном районе, должен свыкнуться с мыслью, что в любой момент может произойти сильное землетрясение. Сознание этого не должно мешать нам, отвлекать от нашей повседневной деятельности на работе, в школе, дома и в других местах. (Свыкаемся же мы с риском при движении по шоссейным магистралям и улицам!) Однако мы можем весьма существенно снизить этот риск, если подготовимся к землетрясениям, заранее учась тому, что надо делать в случае его возникновения.

Все усилия по подготовке к землетрясениям, включая деятельность отдельных лиц, небольших фирм, крупных промышленных компаний, общественных служб, правительственных органов, направлены на уменьшение числа жертв, сокращение ущерба для имущества и архивов, облегчение процесса восстановления. Для достижения этих целей подготовка должна вестись в следующих трех направлениях:

- уменьшение степени риска (до землетрясения);
- развертывание спасательных работ (с момента землетрясения);
- восстановление коммунальных сетей и служб (после землетрясения).

Некоторые подготовительные меры могут быть осуществлены индивидуально; другие требуют административных действий и затраты больших средств.

*Уменьшение степени риска.* Первым шагом на пути уменьшения потерь является определение степени риска; можно, например, проверить основные конструкции и пристройки для выявления слабых и ненадежных мест. Следующий шаг состоит в осуществлении необходимых мер; например, само здание можно укрепить, а оборудование и предметы обихода – закрепить или привернуть к полу.

Когда после землетрясения, происшедшего в Коалинге (Калифорния) в мае 1983 г., в школах возобновились занятия, первоклассники стали практиковаться в том, как поступать при следующем землетрясении: «Лезьте под парты, лицом от окна, укройте головы!» [С разрешения Wide World Photos.]

*Развертывание спасательных работ.* Ответственность за борьбу с последствиями катастрофы лежит на каждом. По опыту известно, что в большинстве своем люди сразу же бросаются помогать другим, стремясь предотвратить дальнейшие потери. Они содействуют спасателям и в случае необходимости горячо берутся за дело. Добровольцам приходится на месте принимать важные решения, поэтому очень полезно предварительное обучение.

При любой катастрофе мы зависим в первую очередь от действий полиции, пожарных и медиков. Они тренируются и готовятся к любым катастрофам, имея доступ к коммуникациям, транспорту и спасательным средствам (включая радиосвязь, генераторы, инструменты, аварийное освещение, аппараты искусственного дыхания, медикаменты). Их работа включает оказание медицинской помощи, розыск людей в развалинах, блокирование распространения пожаров и разлитых химических веществ, эвакуацию людей, поддержание связи, отключение электричества и газа, предотвращение мародерства и грабежей, а также решение других возникающих проблем. Когда первоочередные спасательные работы завершены, необходимо обеспечить оставшихся в живых питьевой водой, пищей, гигиеническими средствами и временным жильем. Следующая задача – организовать работы по расчистке и восстановлению, контролировать доступ в поврежденные дома, осуществить фотодокументацию повреждений, уберечь записи актов гражданского состояния, выполнить инженерные обследования и т.д.

*Восстановление коммунальных сетей и служб.* Возвращение к нормальной жизни – постепенный процесс, в ходе которого должны быть восстановлены общественные системы, налажено производство и торговля, оказана помощь людям. Здесь, возможно, придется столкнуться с очень крупными проблемами, и решить их будет легче, если планы восстановления будут разработаны заранее.

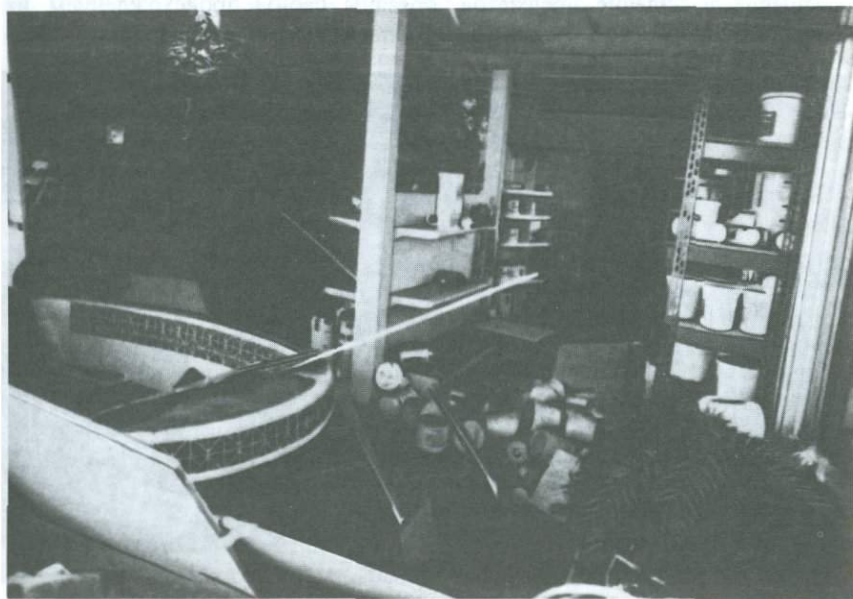
Весь объем усилий по подготовке к землетрясению зависит от доступных средств, ожидаемого уровня потерь и взаимодействия обществественности и административных органов. Например, в Станфордском университете образована специальная группа действий в связи с землетрясением, состоящая из ответственных представителей администрации и спасательных служб. Группа регулярно собирается для обновления планов преодоления последствий возможного землетрясения. Она руководит несколькими проектами, в том числе программами обучения персонала и студентов.

### **Содержимое зданий**

Домовладельцы, предприятия и коммунальные службы в последнее время принимают ряд мер для защиты своего имущества – оборудования, мебели, станков и продукции. Для этого у них есть все основания. Например, при землетрясении 1978 г. в Санта-Барбара убытки от повреждения оборудования и содержимого зданий были много больше убытков от

повреждения самих зданий. Эта ситуация вполне может повториться, особенно если учесть, что многие предприятия устанавливают ЭВМ и другое электронное оборудование. Представьте, какие последствия может иметь гибель самих ЭВМ и потеря их математического обеспечения (программ)—как после этого могут работать банки, предприятия, администрация?

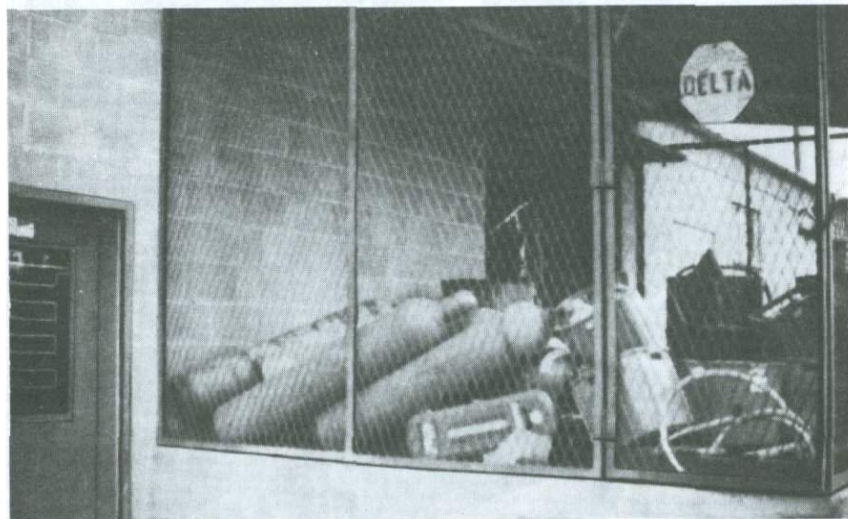
Даже при землетрясениях умеренной силы оборудование и содержимое зданий несут большую опасность для людей. В учреждениях могут, например, опрокинуться незакрепленные шкафы, стеллажи с папками, стеллажи с имуществом на складах, в мастерских—упасть или сдвинуться станки. В лабораториях с полок падают и разбиваются об пол бутылки и склянки. Грозят падением плохо закрепленные баллоны со сжатым газом. Из емкостей могут выплеснуться или разлиться едкие жидкости. В спортивных залах неустойчивы шкафы и снаряды, в учебных помещениях могут отколоться и упасть на скамьи куски штукатурки, детали освещения, подвешенное оборудование. В музеях ценные предметы могут быть разбиты или повреждены при падении с полок или со стен. В жилых помещениях с полок падает тяжелая стереоаппаратура. В кухнях могут сорваться с места и придавить кого-нибудь плиты и холодильники. Перечень возможных опасностей можно продолжать сколько угодно; вы легко дополните его, внимательно посмотрев вокруг себя.



Помещение магазина в Коалинге после землетрясения 1983 г. (магнитуда 6,5). Фото авторов.

Чтобы предотвратить эти опасности, нужно принять довольно простые и недорогие меры. ЭВМ следует привинтить к полу и притянуть к потолку; хрупкое электронное оборудование можно установить на мягких прокладках. Мебель и оборудование надежно прикрепляются к стенам шурупами и металлическими скобами. Станки должны быть прижаты к полу металлическими лентами и болтами. Бутылки на полках можно предохранить установкой бортика вдоль полок или эластичной лентой. Баллоны со сжатым газом должны быть прикреплены к стене крепкой проволокой или цепочкой. Емкости с жидкими веществами необходимо надежно привязать, а их крышки и пробки — как следует закрепить. Всевозможные ящики и лари нужно зажать досками, прикрепленными к стенам. Светильники должны иметь надежную подвеску. Висящее оборудование следует надежно прикрепить к балкам или колоннам. Предметы искусства можно закрепить тонкими струнами или проволокой. Дорогое и тяжелое оборудование лучше перенести с верхних полок на нижние. Меры, подобные описанным, осуществить нетрудно, зато они очень выгодны, так как одновременно обеспечивают сохранность имущества и предохраняют людей от ранений.

Люди часто впадают в ошибку, оценивая по своим меркам сейсмическую безопасность предметов, — они пытаются сдвинуть, например, тяжелый холодильник и приходят к заключению, что он не может сдвинуться или опрокинуться, благодаря своей тяжести. Это, конечно же, заблуждение. Силы, возникающие при землетрясении и вызывающие смещение и падение предметов, обязаны своим происхождением их инерции, которая тем больше, чем больше масса тела. Поэтому пред-



Баллоны и баки, если их не закрепить как следует, при землетрясении могут представить опасность. Эти баллоны упали при землетрясении 1983 г. в Коалинге. Фото авторов.

мет массой 200 кг имеет такие же шансы упасть при землетрясении, как и предмет массой 20 кг, если их размеры равны и центры тяжести расположены одинаково. Однако, падая, тяжелый предмет может причинить больше вреда.

## Обучение населения

Каждый, кто живет, работает или путешествует в сейсмичной области, должен иметь определенные знания о землетрясениях; эти знания можно получить из книг, по телевидению, из лекций с показом слайдов, а также из бесед с другими людьми. Надо, чтобы студенты, учащиеся, персонал компаний, правительственные служащие и другие группы населения регулярно прослушивали программы по сейсмической безопасности. Элементом сейсмической безопасности должны быть обучены руководители строительных организаций и лица, ответственные за технику безопасности в различных зданиях и помещениях.

Школьникам следует преподавать основы знаний о происхождении землетрясений, их проявлениях и мерах подготовки к ним. Элементарные знания о землетрясениях могут в большой степени помочь детям преодолеть страх и спокойно перенести землетрясение. Их следует познакомить с основами тектоники плит, чтобы опровергнуть всякие нелепые домыслы вроде того, что Калифорния провалится в море или что земля может разверзнуться и поглотить людей.

В каждой школе должны проводиться учебные сейсмические тревоги, чтобы школьники научились, как им вести себя, если землетрясение произойдет во время уроков. Семьи школьников должны договориться, как и где встречаться после землетрясения; это поможет предотвратить «родительскую панику» и избежать шквала телефонных звонков, перегружающих телефонную сеть и мешающих важной работе.

## Учебные сейсмические тревоги

Учебные сейсмические тревоги чрезвычайно полезны для проверки готовности и выявления недочетов. В проведении последней такой тревоги в Станфордском университете участвовали персонал больницы, полиция, пожарные, служащие и студенты. Сценарий был разработан на случай землетрясения с магнитудой 7,5 и эпицентром на разломе Сан-Андреас в 30 км от Станфорда. На основе этих исходных данных были оценены возможное число жертв и уровень повреждения зданий. В сценарии предусмотрены повреждения водопровода и канализации, пожары, утечка химических веществ, блокирование дорог и десятки других нарушений и видов опасности. Мнимые жертвы в жилых корпусах и в аудиториях служили проверкой медицинскому персоналу (лицам, избранным в качестве жертв, были «назначены» различные правдоподобные ранения, и они добросовестно исполняли свои роли). Работники университетского комплекса, персонал больницы, полицейские, пожарные и административные работники, участвовавшие в проведении

учебной тревоги, не были заранее предупреждены о том, с какими именно проблемами они столкнутся, справляясь с последствиями учебного землетрясения. В течение минут и часов с момента его «возникновения» они неожиданно оказывались в различных критических ситуациях. Объем непредвиденных проблем возрастал, включая обрывы коммуникаций, невозможность оказания быстрой помощи всем пострадавшим, недостаточное снабжение, трудности в расстановке сил. Тревога продемонстрировала необходимость тщательной подготовки к землетрясениям, и вскоре были предприняты необходимые корректировочные действия.

Значение усилий по обучению населения стало очевидным после землетрясения 1979 г. в южной Калифорнии. Проведенный после землетрясения опрос 123 человек, работавших в административном здании округа Импириал, выявил некоторые интересные черты их поведения при землетрясении. 70% опрошенных сообщили, что их первая реакция была основана на тех инструкциях, которые они получили ранее на занятиях и учениях. Почти каждый залез под стол, встал в дверной проем или оставался на месте. Паники не было, хотя здание сильно сотрясилось и было близко к обрушению (позже оно было снесено). Многие получили небольшие повреждения, царапины и ушибы, но никто не был тяжело ранен. Вот как описывает одна из служащих свои ощущения на втором этаже здания:

«Во время землетрясения я была убеждена, что здание вот-вот рухнет и я погибну. Я почувствовала, что лучше всего было бы залезть под стол. Сотрясения усилились, я не могла больше стоять и поползла под стол. Когда тряска кончилась, я не знала, смогу ли спуститься по ступеням, не убившись до смерти. Когда я вышла наружу и перешла улицу, меня записали и велели идти домой. Я не чувствовала времени и была в состоянии шока. Я пошла домой пешком (а живу я в 20 км от работы), и по дороге меня нашел мой муж.»\*)

## Психологическая реакция на землетрясение

Из-за того что в большинстве своем люди никогда не переживали крупной катастрофы и не проходили подготовки к ней, они могут испытать сильный эмоциональный стресс и совершить бессмысленные поступки. Соответствующее обучение и тренировки могут предотвратить или по крайней мере смягчить такое поведение. Дисциплинированность в поведении полиции, пожарных, военных и персонала «скорой помощи» говорит об эффективности подобных тренировок.

В момент разрушительного землетрясения даже подготовленные люди могут на какое-то время испытать замешательство. Требуется не-

---

\*) Перевод цитаты из книги: *Arnold C., Eisner R., Durkin M. and Whitaker D. Imperial Country Services Building: Occupant Behavior and Operational Consequences as a Result of the 1979 Imperial Valley Earthquake. August 1982, Building Systems Development, Inc., San Mateo, California.*

которое время, чтобы понять, что произошло, оценить ситуацию и решить, что нужно делать в первую очередь. Одни люди прежде всего кидаются на помощь, тогда как другие довольно долго остаются как бы оглушенными. Одна из возможных болезненных реакций – состояние полного безволия; люди в этом состоянии оцепенело смотрят на окружающие их развалины и ведут себя так, будто они одни во всей Вселенной. Они не реагируют на окружающее и не в состоянии помочь самим себе. Противоположная реакция состоит в чрезмерной активности, когда взбурдаженный человек без толку суетится, порой попросту мешая необходимым спасательным работам. У многих предельно сильный стресс вызывает потливость, одышку, тошноту и мышечную слабость; однако в большинстве своем нормальные люди, если они не были ранены, в короткое время восстанавливают самообладание.

В перенаселенных местах особенно опасно, когда кто-то впадает в панику и ведет себя, как ненормальный. Человек в паническом состоянии теряет всякую способность рассуждать, и его бессмысленные действия иногда наводят ужас на окружающих. Опасность, конечно, состоит в том, что вся толпа целиком может быть охвачена паникой. В 1976 г. сразу после сильнейшего землетрясения в Гватемале (магнитуда 7,5) один из авторов (Шах) прибыл в город Гватемалу для совместной работы с гватемальскими специалистами. Во время его лекции в аудитории о планах восстановления для большой группы людей произошел сильный афтершок. Первой реакцией аудитории было в панике броситься к выходу. Пока здание скрипело и шаталось, было трудно навести порядок; к счастью, призывы лектора возымели действие и паническое бегство было остановлено.

Серьезным долговременным последствием сильных землетрясений являются психологические травмы детей и взрослых. Утрата чувства безопасности и ощущение беспомощности могут стать непреодолимыми. Каждый новый афтершок усиливает эмоциональное напряжение, вновь и вновь возвращая к мучительным вопросам. Что еще разрушит следующий толчок? Переживу ли я его? Родителям важно сохранять спокойствие в это напряженное время – крики взрослых плохо действуют на детей и усиливают их серьезные страхи.

Землетрясение 1971 г. в Сан-Фернандо случилось в 6 ч 10 мин утра, когда большинство людей спали. Дом, спальня, особенно кровать дают ребенку ощущение безопасности, и это ощущение было разрушено землетрясением. Темнота вокруг усиливала детские страхи. Во многих домах, испытавших лишь небольшие повреждения, возникла неожиданная проблема – заклинило двери. Дверные коробки в спальнях перекосились, двери нельзя было открыть, и испуганные дети оказались отрезанными от своих родителей.

Г-жа Изабелла Фокс из Шерман-Окс, старший консультант-психиатр в больнице Оперейшн-Хед-Старт, была одним из медицинских работников, оказывавших помощь пережившим душевное потрясение детям и взрослым. Она рассказала нам, что для сотен людей проблемой стала бессонница. Многие дети просились спать вместе с родителями в тече-

ние долгих месяцев после землетрясения. Один человек был потрясен настолько, что после землетрясения спал одетым в гостиной, и прошло два года, пока он смог вернуться к нормальному сну.

Одна молодая мать страдала от того, как она среагировала на опасность. Когда произошло землетрясение, она укрылась под столом, пока толчки не кончились, и лишь тогда вспомнила, что оставила одного своего младенца – приемного сына. Он был цел и невредим, но она чувствовала свою вину и страдала оттого, что подумала в первую очередь о себе. Она пыталась быть образцовой матерью и не могла простить себе своих действий (в общем совершенно обычных). Другая женщина испытывала острые душевные страдания, требовавшие вмешательства психиатра, из-за того, что посуда, которая досталась ей от умершей матери, вся разбилась; она говорила, что эта потеря порвала ее связи с любимым существом.

Душевная подавленность – еще один вид реакции на землетрясение, возникающий оттого, что страшное событие вызвало в памяти прежние беды и неприятные переживания. Одинокое отцы или матери-одиночки в целом страдали сильнее, чем супружеские пары, возможно, из-за того, что на них лежала вся ответственность за дом и детей. Некоторые взрослые, бывшие не в состоянии трудиться из-за душевного потрясения, вызванного землетрясением, получили пособия по временной нетрудоспособности.

По сообщению г-жи Фокс, обычным источником страха при землетрясении был подземный гул. Оглушительный шум, сопровождающий движение почвы и повреждение домов, является одним из непредвиденных эффектов землетрясения. Многие дети говорили, что он был похож на «рев зверей, которые хотели напасть на них».

Как сообщает г-жа Фокс, большинство психологически травмированных детей были в возрасте от 3 до 12 лет. Дети моложе 2 лет практически не пострадали от землетрясения (возможно, из-за непонимания опасности), а подростки восприняли землетрясение без страха (возможно, из-за того, что им нравятся острые ситуации). Типичными последствиями у тех, кто испытывал душевные страдания, были ночные кошмары, пробуждения с криком, приступы страха. Отмечалось возрастание страха одиночества; многие дети, например, не выносили, когда родители, уходя из дома, оставляли их одних.

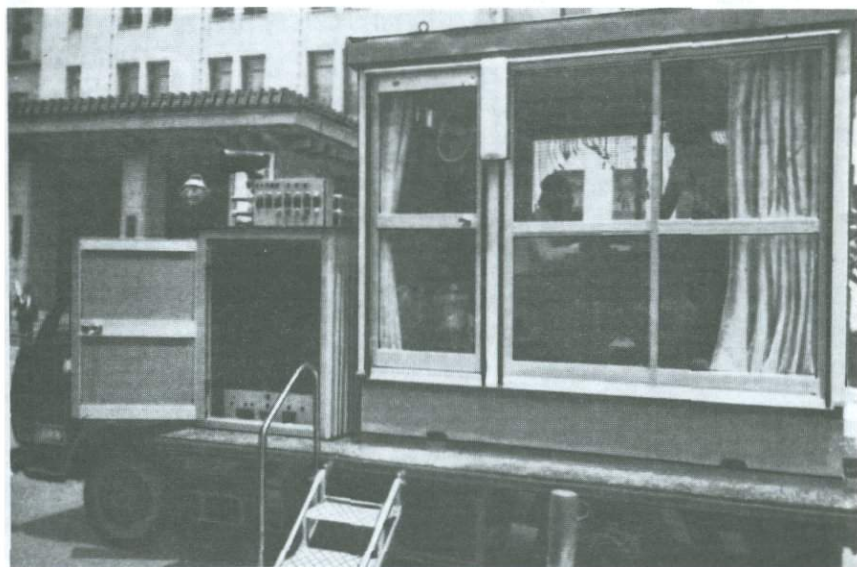
Чтобы помочь детям выздороветь, г-жа Фокс придумала остроумную игру. Она предлагала им строить дома из кубиков на столе и, двигая стол, показывала, как действует землетрясение. Когда кубики падали, дети видели, что происходит при землетрясении. Потом они строили дом заново и убеждались в том, что последствия катастрофы могут быть устранены. Понимание помогло детям вернуть ощущение безопасности и облегчало возвращение к норме. Для душевного выздоровления как детей, так и взрослых были полезны разговоры о пережитом и воскрешение в памяти подействовавших на них событий.

Удивительно большое число людей, получивших психологические травмы при землетрясении в Сан-Фернандо, не имели никакого пред-

ставления о причинах и эффектах землетрясений. Недостаток знаний, а в иных случаях превратные представления причинили им ненужные страдания. Некоторые говорили, что Бог наказал их за действительные или мнимые грехи; другие думали, что Калифорния «собирается обрушиться в море». Вероятно, они имели в виду весь штат, а не несколько домов на береговых обрывах, и неудивительно, что это вселяло в них страх. Даже минимальные сведения о землетрясениях могут помочь таким людям сохранить спокойствие и избежать психических травм.

Значительную роль может сыграть психологическая подготовка к землетрясению. Как в случае пожара учебная тревога постепенно вырабатывает автоматическую реакцию — идти (не бежать) к ближайшей двери, сохранять спокойствие, так и учебные сейсмические тревоги учат людей реагировать автоматически. Школьники могут действовать, например, по такому сценарию: классная комната начала колебаться, лампы качаются туда-сюда, учитель говорит: «Землетрясение!» Дети немедленно лезут под парты, закрывая лицо руками. Они держатся дальше от окон и не выбегают наружу. В качестве другого упражнения можно предложить нарисовать картинку, как будет выглядеть класс при землетрясении, или написать рассказ о том, что надо делать.

В Японии детям с раннего возраста рассказывают о землетрясениях — что это такое, как они проявляются, как воздействуют на здания.



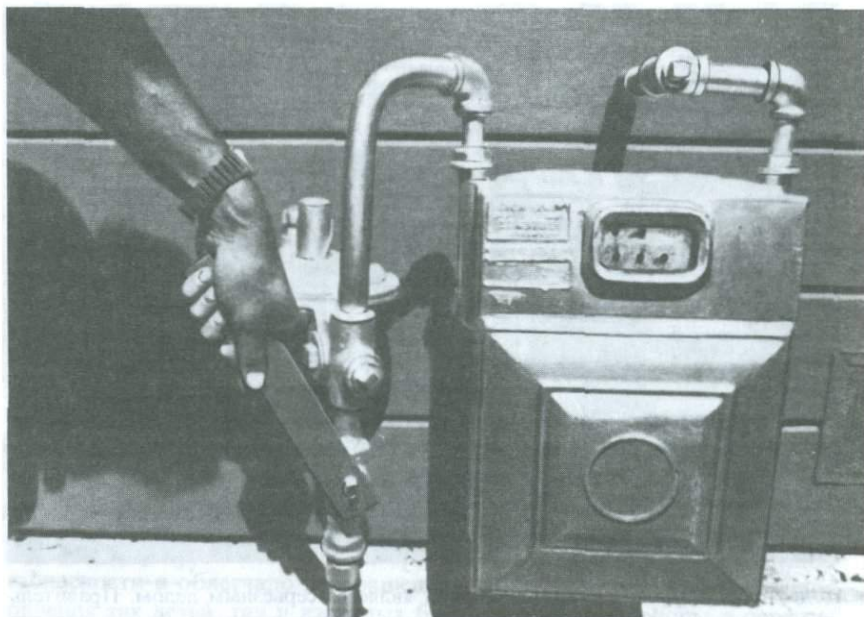
Подготовка к землетрясению в Японии является серьезным делом. Правительство тратит большие средства на обучение населения и на меры предосторожности. Это «типичное жилище» помещено на грузовик с виброустановкой, имитирующей землетрясение для «обитателей». Фото Г. Кроуинклера, Стэнфордский университет.

Передвижные фургоны, обставленные внутри как японские жилые комнаты, привозят к школам. Дети входят в фургон, который после этого подвергается механическому сотрясению, имитирующему землетрясение. Такие тренировки окажутся бесценными, когда дети столкнутся с реальной угрозой.

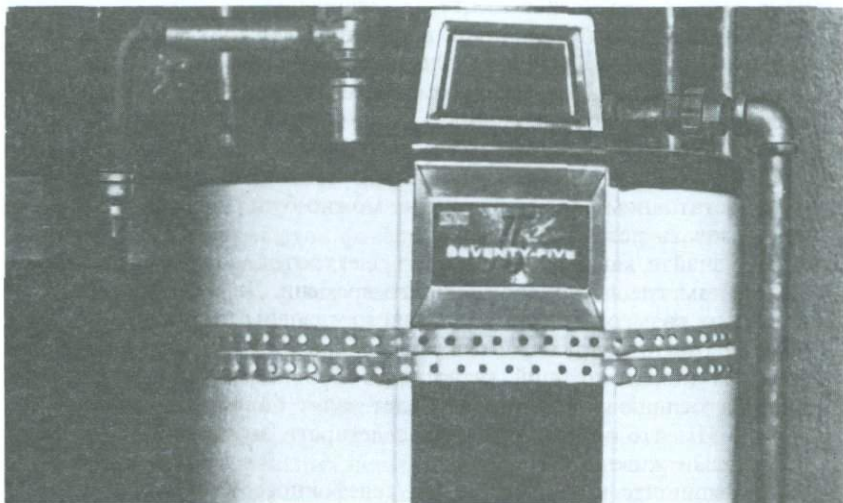
### Индивидуальная готовность к землетрясению

На следующих страницах мы перечислим многое, что каждый может сделать до землетрясения, во время него и после. Эти рекомендации направлены в первую очередь на обеспечение своей безопасности дома и на работе. Конечно, они не являются исчерпывающими. Однако, изучая этот перечень, вы получите хорошее представление о характере проблем, создаваемых землетрясениями; после этого вы сможете с учетом особенностей вашей обстановки и окружения составить свой собственный дополнительный перечень мер. На первой странице вашего телефонного справочника также должны быть перечислены важнейшие правила подготовки к опасностям при катастрофе.

Помните, что вам будет гораздо легче сохранить спокойствие и способность к действиям, если вы заранее обдумали свою реакцию. Хорошее умственное упражнение – целеустремленно думать о том, что имен-



Специальный ключ для включения и выключения газа. Его можно купить или обойтись обычным гаечным ключом. [С разрешения Д. Хедмана и Р. Мейсона, Организация безопасности при землетрясениях, Пало-Альто.]



Подогреватель воды имеет достаточно большой вес (200 л воды весят 200 кг) и при землетрясениях часто срывается со своей подвески. Гибкой металлической лентой, которая продается в скобяной лавке, можно надежно прикрепить бак к стене. [С разрешения Д. Хедмана и Р. Мейсона, Организация безопасности при землетрясениях, Пало-Альто.]

но вы будете делать при следующем землетрясении; вы можете заниматься этим в свободные минуты дома, на работе, в магазине, на улице, в автомобиле, в приемной у зубного врача. Этот вид «упражнений» с воображаемым землетрясением – превосходный способ подготовки к настоящему землетрясению. Когда на самом деле произойдет землетрясение, вы будете удивлены тем, как быстро вы перемещаетесь в безопасное место, пока другие, внутренне не подготовленные люди с криками мечутся по помещению.

### Что делать до следующего землетрясения

Ниже перечислены меры, которые можно принять заранее перед следующим землетрясением. Для одних требуются простые действия, которые каждый должен совершить как можно скорее; другие предназначаются для тех, кто хочет обеспечить себе большую безопасность.

1. Запасите дома питьевую воду и консервы в количестве, достаточном для того, чтобы продержаться самостоятельно несколько дней. 3,5–4 л воды на человека в день достаточно для питья и приготовления пищи. Если ток будет выключен, пища в холодильнике испортится, поэтому нужны консервы или сухие продукты. Удобны походные способы приготовления пищи,

например на переносной плите или жаровне.

2. Всегда имейте под рукой карманный фонарик и свежие батареи. Держите фонарик возле своей кровати.

3. Имейте дома или в другом месте, где вы проводите много времени, батарейный радиоприемник.

4. Держите в удобном месте один или несколько огнетушителей. Держите шланги для поливки сада подключенными к кранам (при достаточном давлении воды их можно будет в случае пожара использовать незамедлительно).

5. Узнайте, как выключается газ, электроток, вода в вашем доме или там, где вы проводите много времени. Держите ключ подходящего размера вблизи от главного газового вентиля.

6. Держите под рукой аптечку первой помощи и умейте ею пользоваться (после крупной катастрофы больницы будут перегружены, а медицинский персонал будет занят более тяжелыми случаями). Имейте достаточный запас лекарств, нужных вам и тем, кто с вами живет.

7. Выпишите и держите около телефонного аппарата номера телефонов скорой помощи, вызова пожарных и полиции.

8. Прикрепите к стенам книжные шкафы и другую тяжелую мебель, которая может опрокинуться и причинить травмы. Убедитесь, что тяжелое оборудование надежно прикреплено к полу и стенам.

9. Обтяните подогреватель воды и газовую печь гибкой металлической лентой, надежно прикрепленной к стене. Приверните опоры к полу.

10. Храните опасные материалы (легко воспламеняющиеся жидкости, ядовитые вещества) в безопасном месте, где они не смогут упасть, рассыпаться, разлиться. Уберите тяжелые предметы с верхних полок и держите их на полу или на нижних полках.

11. Убедитесь, что ваша кровать не стоит у окна с большим стеклом.

12. Добейтесь, чтобы все члены вашей семьи, сослуживцы и другие знали, что нужно делать во время землетрясения и после него.

13. Если у вас есть маленькие дети, скажите им, что они должны делать во время землетрясения в школе. (Лучше всего, если они останутся в школе, пока вы не сможете прийти за ними.)

14. Держите на работе флягу с водой на случай, если вам предстоит дальний путь домой после землетрясения пешком или на велосипеде.

15. Оцените, не находится ли ваше жилье или место работы под угрозой затопления (при разрушении плотины), оползня или действия цунами. Если это так, запланируйте вместе с членами вашей семьи, соседями и сослуживцами порядок эвакуации. Решите

заранее, где члены вашей семьи встретятся в случае, если население будет эвакуировано.

16. В ходе своей повседневной деятельности на работе или в школе не загромождайте коридоры, выходы, выезды громоздкими вещами – велосипедами, колясками и т.п. Когда случится несчастье, важно, чтобы все проходы были свободны для эвакуации населения и движения спасателей.

17. Для защиты вашего дома в случае повреждений имейте наготове несколько листов фанеры и прочного пластика, чтобы закрыть выбитые окна и другие отверстия.

18. При постройке или перестройке дома убедитесь, что предусмотрены надлежащие меры против действия горизонтальных сил. Добейтесь, чтобы фундамент был прочным и чтобы дом был надежно прикреплен к фундаменту.

19. Поддерживайте общественные программы подготовки к землетрясению и другим бедствиям. Поддерживайте усилия по улучшению строительных норм. Поддерживайте местные правила, которые определяют характер конструкций, разрешенных для строительства вблизи сейсмически активных разломов. Поддерживайте усилия по перепланировке и перестройке старых и ненадежных построек, включая устранение или укрепление ненадежных парапетов и карнизов.

20. Следите за работами по прогнозу землетрясений, ведущимися учеными и инженерами, особенно теми, кто работает в Геологической службе США. Когда настанет время и надежные прогнозы будут возможны, следуйте указаниям этой службы (или других ответственных правительственных учреждений).

### **Что делать во время землетрясения**

Когда произойдет землетрясение, земля будет ощутимо сотрясаться в течение довольно короткого времени – быть может, всего несколько секунд, а при сильном землетрясении – до минуты. Сотрясения могут вас испугать, однако у вас нет другого выхода, как дожидаться их окончания. Если вы будете действовать спокойно и продуманно, то увеличите свои шансы уберечься. Кроме того, ваше спокойствие передастся окружающим вас людям и поможет им воспользоваться вашим примером.

Действуйте немедленно, как только почувствуете колебания почвы или здания, имея в виду, что главная опасность, которая вам угрожает, – это падающие предметы и обломки. Не бойтесь застрять, спрятавшись под письменным или обеденным столом (или под кроватью). Как раз тот и страдает больше всего от падающих предметов, кто слишком долго размышляет, спрятаться ему или нет.

1. Заставьте себя хранить спокойствие и не делайте ничего, что может дезорганизовать окружающих (не кричите и не мечитесь).

2. Если вы находитесь в помещении, немедленно перейдите в безопасное место. Спрячьтесь, если возможно, под письменный или обеденный стол, под верстак. Станьте в проеме внутренней двери или в углу комнаты. Оберегайтесь от падающих обломков или тяжелой мебели. Стойте дальше от окон и тяжелых предметов (станков, холодильников), которые могут опрокинуться или сдвинуться с места.

3. Общее правило — не выбегайте из здания. Падающие рядом со зданием обломки представляют наибольшую опасность. Лучше искать спасения там, где вы находитесь, дождаться конца землетрясения и затем спокойно покинуть помещение, если это необходимо.

4. Если вы находитесь в высоком здании, не бросайтесь к лестнице или лифту. Выходы скорее всего будут забиты толпой, а лифты по большей части прекращают работу. Ищите спасения там, где вы находитесь.

5. Не пугайтесь, если выключат электричество или если начнут звонить сигналы тревоги лифтов, противопожарных установок или охранных систем либо включатся противопожарные распылители воды; будьте готовы услышать звон бьющейся посуды, треск стен, грохот падающих предметов.

6. Если вы находитесь в несейсмостойком кирпичном доме или другой небезопасной постройке, вы можете решить, что лучше оставить помещение, чем находиться внутри. В таком случае выбегайте быстро, но осторожно, уберегаясь от падающих кирпичей, оборвавшихся проводов и других источников опасности.

7. Если вы проходите рядом с высоким зданием, станьте в дверной проем, чтобы уберечься от падающих обломков.

8. Если вы находитесь вне помещения, постарайтесь выйти на открытое пространство, удалившись от зданий и линий электропередач.

9. Если вы едете в автомобиле, спокойно остановитесь по возможности вдали от высоких зданий, путепроводов и мостов. Оставайтесь в машине до прекращения колебаний.

10. Не удивляйтесь, если вы почувствуете новые толчки. После первого сильного толчка может наступить временное затишье, а затем новый толчок. Это явление — попросту действие разных сейсмических волн одного и того же землетрясения (первый толчок — волны *P*, второй — волны *S*). Могут произойти и повторные толчки — афтершоки, т.е. отдельные землетрясения, возникающие вслед за главным толчком. Они могут происходить в течение нескольких минут, нескольких часов или даже нескольких дней. Иногда афтершоки могут вызвать повреждения или обрушение построек, уже сильно поврежденных главным толчком.

## Что делать после землетрясения

После прекращения сотрясений может оказаться, что возникли серьезные разрушения и пострадало много людей. Особенно важно, чтобы каждый сохранял спокойствие и мог помогать другим. Первое дело при этом — помочь пострадавшим, второе — предупредить возникновение пожаров. После этого можно приступить к оценке повреждений и восстановительным мерам.

1. Сохраняя спокойствие, оцените ситуацию.

2. Помогите пострадавшим. Организуйте первую помощь, если это необходимо. Укройте пострадавших, чтобы они не замерзли. Изыщите медицинскую помощь тем, кому она необходима.

3. Проверьте, нет ли угрозы пожара. Если можете, гасите пламя немедленно.

4. Проверьте, нет ли повреждений в линиях и приборах газо- и водоснабжения. При малейшем намеке на утечку газа перекройте газовые краны. Утечку проверяйте по запаху и ни в коем случае не при помощи горящей спички или свечи. Вырубите электричество, если есть подозрения на повреждение проводки. В случае повреждения труб перекройте водопровод. В подходящий момент сообщите о повреждениях в соответствующие службы и следуйте их указаниям.

5. Не зажигайте спичек, не используйте открытого огня, выключите освещение, нагревательные приборы и газовые плиты и не включайте их, пока не будете уверены, что нет утечки газа.

6. Не касайтесь линий электропередач, проводов или соприкасающихся с ними предметов.

7. Не занимайте телефона, кроме как для вызова скорой помощи, сообщения о серьезной опасности (повреждения, пожары, преступления) или же для выполнения важных дел. Перегрузка телефонных линий мешает работе спасательных служб, поэтому неразумно использовать телефон для личных надобностей или для удовлетворения любопытства. (Когда опасность будет позади, созвонитесь с родственниками и друзьями, чтобы они знали о вашем состоянии и местонахождении.)

8. Не спешите с осмотром города, не занимайте зря улицы. Не посещайте зону разрушений, если там не нужна ваша помощь. Избегайте побережья, где вас могут настичь морские сейсмические волны (цунами).

9. Не пользуйтесь туалетом, пока не убедитесь в исправности канализации.

10. Носите крепкую обувь, чтобы не пораниться о разбитое стекло и острые обломки.

11. Устраните пролитые или просыпавшиеся опасные материалы (химикаты, бензин) и предупредите о них других.

12. Слушайте по радио информацию о землетрясении и необходимых мерах борьбы с его последствиями.

13. Будьте готовы испытать афтершоки. Часто они приводят к дополнительным разрушениям в зданиях, поврежденных главным толчком.

14. Входя в поврежденные здания и перемещаясь в них, будьте предельно осторожны. Обрушение может произойти почти внезапно, к тому же вам грозит опасность от утечки газа, от нарушенной электропроводки, битого стекла и т. д.

15. Если электричество отключено, используйте сразу продукты из холодильника, пока они не испортились, а затем перейдите на консервы и сушеные продукты. Используйте для готовки походные печки и жаровни.

16. Проверьте, не повреждены ли печи и дымоходы. Если дымоходы и трубы повреждены или имеют трещины, не разводите огня, пока они не будут отремонтированы.

17. Осторожно открывайте дверцы чулана и шкафов, чтобы на вас не вывалились тяжелые предметы.

18. Помогите успокоиться детям и всем остальным, испытавшим психологическую травму в результате землетрясения. Не распространяйте слухов.

19. Если во время землетрясения вы были дома, помогите своей семье и соседям справиться с повреждениями. После того как вы сделаете все, что в ваших силах, подумайте, не можете ли вы помочь по соседству, в школе или на работе. Если вы были на работе, когда грянуло землетрясение, сделайте все, что нужно, на месте, прежде чем поспешить домой.

20. Помогайте полиции, пожарным, медицинским работникам и другим, занятым спасательными и восстановительными работами.

Землетрясения всегда будут сопровождаться жертвами, повреждениями, разрушениями, и нет правил, позволяющих обеспечить полную безопасность. Кроме того, некоторые правила могут применяться только в определенных ситуациях и при других обстоятельствах должны быть изменены или отброшены. Однако здравое использование перечисленных выше советов поможет вам существенно уменьшить опасность от землетрясения и будет полезно вам и другим при следующей катастрофе.

Таблица А.1. Некоторые данные о землетрясениях

Магнитуда по Рихтеру	Среднее число землетрясений в мире за 1 год	Среднее число землетрясений в Калифорнии за 100 лет	Длительность сильных сотрясений грунта, с	Радиус района, захваченного сильными сотрясениями грунта, км
8,0–8,9	1	1	30–90	80–160
7,0–7,9	15	12	20–50	50–120
6,0–6,9	140	80	10–30	20–80
5,0–5,9	900	400	2–15	5–30
4,0–4,9	8000	2000	0–5	0–15

Таблица А.2. Важнейшие землетрясения мира

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших <sup>*)</sup>	Примечания
Примерно 1250 г. до н. э.	Гора Синай			«Вся гора сильно колебалась», когда Моисей приготовился услышать десять заповедей. Книга Исхода, 19 : 18
780 г. до н. э.	Китай, пров. Шэньси			Многочисленные разрушения к западу от Сианя
373 г. до н. э.	Греция			Разрушен Гелис у Коринфского залива. Значительная часть города сползла в море
70 г. до н. э.	Китай, пров. Шаньдун		6000	
63 г. н. э.	Италия, возле вулк. Везувий			Землетрясения продолжались 16 лет, завершившись знаменитым извержением 24 авг. 79 г., которое погребло Помпеи и Геркуланум

<sup>\*)</sup> Хотя число жертв при древних землетрясениях взято из литературы о землетрясениях, мы полагаем, что эти данные сильно завышены.

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
342 г.	Турция		40 000	Разрушена Антиохия
21 июля 365 г.	Восточное Средиземно- море		50 000	Большие разрушения на Крите. В Александрии цунами смыло 5000 человек
9 июля 551 г.	Ливан			Разрушен Бейрут
18 сент. 844 г.	Сирия		50 000	Разрушен Дамаск
Декабрь 856 г.	Северная Африка и Средний Восток		45 000	Разрушены многие города от Туниса до Ирана
893 г.	Индия		180 000	Разрушения на большой площади
9 янв. 1038 г.	Китай, пров. Шаньси	7,3	32 000	К северу от Тайюаня разрушено много селений
18 марта 1068 г.	Палестина		25 000	Разрушено много селений
8 сент. 1138 г.	Сирия		100 000	Разрушен Алеппо
20 мая 1202 г.	Средний Восток		30 000	Ощущалось на площади 2 000 000 км <sup>2</sup> , включая Египет, Сирию, Малую Азию, Сицилию, Армению и Азербайджан. В сообщениях указывается либо 1201 г., либо 1202 г., а число жертв оценивается в 1 млн. человек, что в высшей степени невероятно
20 мая 1293 г.	Япония, преф. Канагава		30 000	Большие повреждения в Камакуре
17 сент. 1303 г.	Китай, пров. Шаньси	8,0	15 000	Большие разрушения в Хундуне и его окрестностях
5 дек. 1455 г.	Италия		40 000	Сильно пострадал Неаполь
26 янв. 1531 г.	Португалия, Лиссабон		30 000	

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
23 янв. 1556 г.	Китай, пров. Шэньси	8,0	830 000	Величайшая природная катастрофа в истории. Землетрясение произошло ночью в густонаселенном районе вокруг Сианя. Тысячи оползней на склонах холмов, сложенных мягкими породами. Погибли многие жители, обитавшие в пещерах. Разрушены многие селения, и тысячи людей погибли, когда рухнули дома
30 июля 1626 г.	Италия, Неаполь		70 000	
Нояб. 1667 г.	Азербайджан		80 000	
25 июля 1668 г.	Китай, пров. Шаньдун	8,5	50 000	В провинции разрушения на большой площади
5 июля 1688 г.	Турция		15 000	Разрушения вдоль побережья Эгейского моря
7 июня 1692 г.	Ямайка, Порт-Ройал		2000	Значительная часть города погрузилась в море
9 янв. 1693 г.	Сицилия		60 000	Разрушена Катания
18 мая 1695 г.	Китай, пров. Шаньси	8,0	30 000	
30 дек. 1703 г.	Япония, район Токио	8,2	5200	Цунами
1715 г.	Алжир		20 000	Разрушен город Алжир
18 нояб. 1727 г.	Иран, Тебриз		77 000	
30 дек. 1730 г.	Япония, преф. Хоккайдо		137 000	
11 окт. 1737 г. *)	Индия, Калькутта		300 000	
3 янв. 1739 г.	Китай, пров. Нинся	8,0	50 000	
28 окт. 1746 г.	Перу	8,4	5000	Разрушения в Лиме, цунами

\*) Эта катастрофа вызвана тайфуном и наводнением.—Прим. перев.

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
1 нояб. 1755 г.	Португалия, Лиссабон	8,6	60 000	День всех святых; многие погибли в обрушившихся церквах и от пожаров, охвативших город. Многих погубило сильное цунами
6 авг. 1757 г.	Сицилия, Си- ракузы		10 000	
30 окт. 1759 г.	Ливан, Бааль- бек		30 000	Разрушены знаменитые римские храмы
5 февр. 1783 г.	Италия, Кала- брия		50 000	Первая попытка научного исследования землетрясения
21 мая 1792 г.	Япония, о. Кю- сю		15 000	
4 февр. 1797 г.	Эквадор		41 000	Разрушен Кито
16 дек. 1811 г.	США, Нью- Мадрид, шт. Миссури	7,5		Серия из трех крупных землетрясений вызвала значительные изменения ландшафта, образовались озера, реки изменили русло. Ощущалось в Бостоне — на расстоянии 1800 км. Произошло вдали от населенных мест, и число жертв невелико
23 янв. 1812 г.	там же	7,3		
7 февр. 1812 г.	» »	7,8		
25 марта 1812 г.	Венесуэла, Ка- ракас		20 000	Город разрушен
27 нояб. 1815 г.	Индонезия, о. Бали		10 200	
18 дек. 1828 г.	Япония, о. Хонсю	6,9	30 000	Разрушения в районе Этиго (ныне преф. Нингата)
20 февр. 1835 г.	Чили, Консеп- сьон	8,5		Описано Ч. Дарвином, бывшим тогда на побережье, в «Путешествии на „Бигле“». Большие перемещения грунта. Цунами
1837 г.	Сирия и Пале- стина		5000	Разрушены Дамаск и Бейрут
8 мая 1847 г.	Япония, о. Хонсю	7,4	12 000	
12 сент. 1850 г.	Китай, пров. Сычуань	7,5	21 000	

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
11 нояб. 1855 г.	Япония, о. Хонсю	6,9	7000	Большой пожар в Эдо (ныне Токио)
9 янв. 1857 г.	США, Форт-Техон, шт. Калифорния	8,3	1	Смещение на 9 м вдоль разлома Сан-Андреас; разлом вспоролся на протяжении 400 км. Из-за удаленности землетрясения от населенных мест погиб всего один человек
16 дек. 1857 г.	Италия, Неаполь	6,5	12000	
2 июня 1859 г.	Турция	6,1	15000	
10 марта 1861 г.	Аргентина, Мендоса	7,5	8000	Разрушена Мендоса
2 июля 1863 г.	Филиппины, Манила		10000	
13 авг. 1868 г.	Чили и Перу	8,5	25000	Большое цунами опустошило город Арику (ныне – в Чили, тогда – в Перу)
16 авг. 1868 г.	Эквадор и Колумбия		70000	
26 марта 1872 г.	США, Оуэнс-Валли, шт. Калифорния	8,5	27	Одно из сильнейших землетрясений США. Образовался уступ высотой 6 м
16 мая 1875 г.	Колумбия		10000	Разрушено много деревень
27 авг. 1883 г.	Индонезия, о. Ява		36000	
15 окт. 1883 г.	Греция		15000	
28 окт. 1891 г.	Япония, равнина Ноби	7,9	7300	Известно под названием землетрясения Мино – Овари (ныне провинции Мино и Овари – части преф. Гифу). Разрушено много зданий. Значительные перемещения грунта
17 нояб. 1893 г.	Северный Иран*, Кучан		18000	

\*) В подлиннике Туркмения (ошибочно). – Прим. перев.

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
15 июня 1896 г.	Япония, у побережья Сан-рику	7,5	27 000	Большое цунами хлынуло на берег и затопило много деревень
12 июня 1897 г.	Индия, Ассам	8,7	1500	Образовался громадный уступ – высотой 11 м. В Шиллонге повреждено много зданий
4 апр. 1905 г.	Индия, район Пенджаба – Кашмира	8,6	19 000	Ожили разломы большой протяженности. Разрушения в Кангре
8 сент. 1905 г.	Италия, Калабрия	7,9	557	
31 янв. 1906 г.	У берегов Эквадора	8,9	1000	Одно из сильнейших землетрясений, записанных приборами. Продолжалось более трех минут
18 апр. 1906 г.	США, Сан-Франциско, шт. Калифорния	8,3	700	Разлом Сан-Андреас вспоролся на протяжении 430 км. Город пострадал от большого пожара
16 авг. 1906 г.	Чили, вблизи Вальпараисо	8,6	1500	Изменения уровня берега вдоль побережья
14 янв. 1907 г.	Ямайка	6,5	1000	Разрушения в Кингстоне
21 окт. 1907 г.	Таджикистан	8,1	12 000	
28 дек. 1908 г.	Италия, Мессинский пролив	7,5	58 000	Разрушена Мессина
23 янв. 1909 г.	Иран, запад центральной части	7,3	5500	
13 янв. 1915 г.	Италия, Авеццано	7,5	32 600	
21 янв. 1917 г.	Индонезия, о. Бали		15 000	
13 февр. 1918 г.	Китай, пров. Гуандун	7,3	10 000	
11 окт. 1918 г.	Запад Пуэрто-Рико	7,5	116	Цунами вызвало гибель нескольких человек
3 янв. 1920 г.	Мексика, к западу от Вера-круса	7,8	648	

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
7 сент. 1920 г.	Италия, Реджо-ди-Калабрия		1400	Большой ущерб
16 дек. 1920 г.	Китай, пров. Нинся	8,6	200 000	Множественные оползни завалили города и деревни*)
24 марта 1923 г.	Китай, пров. Сычуань	7,3	5000	
26 мая 1923 г.	Северо-восточный Иран	5,5	2200	
1 сент. 1923 г.	Япония, Токио	8,3	99 300	Известно как землетрясение Канто. Тяжелейший ущерб причинен на большой территории, включая Токио и Иокогаму. Огромный пожар в Токио. Береговые районы затоплены большим цунами
7 марта 1927 г.	Япония, п-ов Танго	7,8	3020	Полностью разрушен город Минеяма
23 мая 1927 г.	Китай, пров. Ганьсу	8,3	41 000	
1 мая 1929 г.	Северо-восточный Иран	7,2	5800	
7 мая 1930 г.	Северо-западный Иран	7,2	2510	
23 июля 1930 г.	Италия, Кампанья	6,5	1425	Большой ущерб причинен району Ариано-Ирпино
3 февр. 1931 г.	Новая Зеландия, зал. Хок	7,8	225	В Нейпире повреждено множество зданий
3 марта 1933 г.	Япония, у побережья Санрику	8,9	3000	Одно из сильнейших землетрясений, зарегистрированных приборами. Крупное цунами причинило большой ущерб и вызвало гибель людей
15 янв. 1934 г.	Индия, Бихар	8,4	10 700	Множественное оседание грунта
21 апр. 1935 г.	Тайвань	7,1	3276	Протяженные разрывы на поверхности земли

\*) Правильнее было бы сказать о массовом обрушении густонаселенных пещерных селений, вырытых в лессовых склонах.—Прим. перев.

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
1 июня 1935 г.	Пакистан, Кветта	7,6	25 000	Город разрушен
24 янв. 1939 г.	Чили, Чильян	8,3	28 000	Город разрушен, 100 000 человек осталось без крова
27 дек. 1939 г.	Турция, Эрзинджан	8,0	32 700	Разрушено много селений
10 нояб. 1940 г.	Румыния, район Вранча	7,4	1000	Зданиям в Бухаресте причинен серьезный ущерб
26 нояб. 1942 г.	Турция	7,6	4000	
10 сент. 1943 г.	Япония, преф. Тоттори и Окаяма	7,4	1190	Эпицентр вблизи города Тоттори
15 янв. 1944 г.	Аргентина, Сан-Хуан	7,8	5000	Город опустошен
7 дек. 1944 г.	Япония, преф. Вакаяма	8,3	1000	Известно как Тонанкайское землетрясение. Цунами
13 янв. 1945 г.	Япония, преф. Айти	7,1	1960	Эпицентр в зал. Микава
28 нояб. 1945 г.	У берегов Пакистана	8,3	4100	Цунами
10 нояб. 1946 г.	Перу, Анкаш	7,4	1400	Огромные оползни
21 дек. 1946 г.	Япония, к югу от о. Сикоку	8,4	1360	Известно как Нанкайское землетрясение. Большое цунами
28 июня 1948 г.	Япония, преф. Фукуи	7,3	5400	Единственный известный случай гибели человека, попавшего в трещину в грунте
6 окт. 1948 г.	СССР, Туркмения	7,3	19 800	Серьезные разрушения в Ашхабаде
5 авг. 1949 г.	Центральный Эквадор	6,8	6000	Разрушено много деревень
15 авг. 1950 г.	Индия, восточный Ассам	8,7	150	Нанесен ущерб районам вдоль границы с Тибетом. Оползни и наводнения
4 марта 1952 г.	Япония, о. Хоккайдо	8,3	31	Известно как землетрясение Токати-Оки. Цунами
18 марта 1953 г.	Северо-западная Турция	7,5	1100	

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
9 сент. 1954 г.	Алжир, Эль-Аснам	6,8	1240	Разрушен Эль-Аснам (тогда Орлеанвиль)
28 июля 1957 г.	Мексика, шт. Герреро	7,9	68	В городе Мехико, в 300 км от эпицентра, повреждены высокие дома
29 февр. 1960 г.	Марокко, Агадир	5,7	12 000	Погибла треть жителей Агадира. Город почти полностью разрушен
22 мая 1960 г.	Чили, в море у побережья вблизи Консепсьона	8,5	2230	Цунами вызвало гибель 61 человека в Хило (Гавайи) и 120 человек в Японии. Путь цунами от Чили до Японии (18 000 км) занял 22 ч
1 сент. 1962 г.	Северо-западный Иран, Казвин	7,3	12 200	
26 июля 1963 г.	Югославия, Скопье	6,0	1070	Повреждено или обрушилось множество зданий
27 марта 1964 г.	США, зал. Принс-Вильям, Аляска	8,4	131	Известно как землетрясение Страстной пятницы. Тяжелые повреждения в Анкоридже и других городах. Оползни. Большое цунами причинило ущерб многим прибрежным городам на Аляске и вызвало гибель 11 человек в Кресент-Сити, шт. Калифорния
16 июня 1964 г.	Япония, Ниигата	7,5	26	Разжижение и опускание грунта вызвало повреждения многих зданий. Большое цунами затопило прибрежную зону
29 июля 1967 г.	Венесуэла, Каракас	6,5	266	Повреждено много домов. Рухнуло несколько высотных зданий
11 дек. 1967 г.	Индия, плотина Койна	6,4	177	Вызвано заполнением водохранилища. Городку Койна-Нагар причинен большой ущерб
14 янв. 1968 г.	Западная Сицилия	6,1	740	С 14 января до 6 февраля произошло 17 землетрясений с магнитудами от 4,1 до 6,1

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
16 мая 1968 г.	Япония, Хатинохе (у берегов)	8,6	48	Известно как землетрясение Токати-Оки (второе). Цунами причинило ущерб многим зданиям и портовым сооружениям
31 авг. 1968 г.	Восточный Иран, Хорасан	7,3	12 100	Около 60 000 человек осталось без крова
23 фев. 1969 г.	Индонезия, о. Сулавеси	6,9	600	
26 июля 1969 г.	Китай, пров. Гуандун	5,9	3000	
28 марта 1970 г.	Турция, Гедиз	7,3	1100	Обрушилось много зданий
31 мая 1970 г.	Перу, Чимботе	7,8	67 000	Величайшая сейсмическая катастрофа в Западном полушарии. Около 800 000 человек осталось без крова. Чудовищный оползень на горе Уаскаран погреб 18 000 человек в городах Ранрахирка и Юнгай
10 апр. 1972 г.	Иран, юг центральной части	7,1	5400	Разрушен Кир
23 дек. 1972 г.	Никарагуа, Манагуа	6,2	5000	Обширные повреждения зданий
28 авг. 1973 г.	Мексика, север шт. Оахака	7,2	530	Разрушено много домов
11 мая 1974 г.	Китай, пров. Юньнань	7,1	20 000	
3 окт. 1974 г.	Перу, Лима	7,6	78	Обширные повреждения в Лиме
28 дек. 1974 г.	Кашмир	6,0	700	Разрушены деревни
4 февр. 1975 г.	Китай, пров. Ляонин, Хайчэн	7,3	1300	Землетрясение успешно предсказано, население эвакуировано заранее. Тяжелые повреждения, однако спасено много жизней
6 сент. 1975 г.	Турция, Лидже	6,7	2370	В Лидже разрушены три четверти зданий

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
4 февр. 1976 г.	Гватемала	7,5	23 000	Обширные повреждения глинобитных зданий. Множественные оползни. Пятая часть населения осталась без крова
6 мая 1976 г.	Италия, район Фриули (вблизи Джемоны)	6,5	965	Обширные повреждения, разрушено много зданий
26 июня 1976 г.	Запад Новой Гвинеи	7,1	6000	Разрушены селения; оползни
14 июля 1976 г.	Индонезия, о. Бали	6,5	560	
28 июля 1976 г.	Китай, пров. Хэбэй, Таншань	7,8	243 000	Крупнейший индустриальный центр полностью разрушен. Четыре афтершока с магнитудами 6,5; 6,0; 7,1; 6,0
17 авг. 1976 г.	Филиппины, зал. Моро	8,0	6500	Причинен ущерб многим зданиям. Большое цунами
24 нояб. 1976 г.	Восточная Турция	7,3	5000	В городах Мурадие и Джалдиран обрушилось множество зданий
4 марта 1977 г.	Румыния, район Вранча	7,2	1570	В Бухаресте обрушилось много зданий
23 нояб. 1977 г.	Аргентина, пров. Сан-Хуан, Каусете	7,4	70	Обширные повреждения в городе
12 июня 1978 г.	Япония, Сендай	7,5	27	Разрушено несколько современных зданий
16 сент. 1978 г.	Центральный Иран, Тебес	7,7	15 000	В Тебесе из 13 000 человек населения погибло 9000
29 нояб. 1978 г.	Мексика, Оахака	7,8	8	Повреждено много зданий
15 апр. 1979 г.	Югославия, юг Черногории	7,0	156	Эпицентр на адриатическом побережье. Обширные повреждения
12 сент. 1979 г.	Запад Новой Гвинеи	8,1	100	Вблизи о. Япен
12 дек. 1979 г.	Колумбия, у юго-западного побережья	7,9	600	Эпицентр в море. Большое цунами

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
10 окт. 1980 г.	Алжир, Эль-Аснам	7,3	5000	Вдоль разлома образовались большие уступы; обрушилось много зданий; 200 000 человек без крова. Эль-Аснам разрушен на 60%
23 нояб. 1980 г.	Южная Италия	7,0	3100	Несколько сильных толчков. В Калабритто и соседних селениях громадные разрушения домов каменной кладки
11 июня 1981 г.	Юго-восточный Иран, вблизи Кермана	6,9	3000	Большой ущерб в Гольбафе
28 июля 1981 г.	Юго-восточный Иран, вблизи Кермана	7,3	2500	Сильно разрушен город Сирч. 50 000 человек без крова
12 сент. 1981 г.	Кашмир	6,1	212	Повреждено много домов
7 июня 1982 г.	Мексика, шт. Герреро	7,2	9	В тот же день произошло еще одно землетрясение с магнитудой 7,0. Повреждения вплоть до города Мехико
19 июня 1982 г.	Сальвадор	7,0	16	Повреждения сельских построек
13 дек. 1982 г.	Йемен, к востоку от Саны	6,0	2800	Разрушено много селений. В горных районах обвалы
16 дек. 1982 г.	Афганистан, к северу от Кабула	6,8	510	Обширные повреждения в пров. Баглан
31 марта 1983 г.	Колумбия	5,5	350	Обширные повреждения в Попаяне. Обрушилось много зданий. Тысячи людей остались без крова
25 мая 1983 г.	Япония, о. Хонсю	7,7	106	Цунами обрушилось на берег у Акиты и вызвало гибель 105 человек
30 окт. 1983 г.	Турция	6,9	2000	В восточной Турции разрушено много селений
7 нояб. 1983 г.*)	Китай, пров. Шаньдун	5,9	30	

\*) Здесь и далее до конца табл. А.2—дополнения переводчика.

Дата	Район	Магнитуда	Число погибших	Примечания
22 дек. 1983 г.	Африка, Гвинея	6,3	200	Землетрясение возникло в районе, считавшемся асейсмичным; разлом на поверхности вспоролся на протяжении 10 км. Разрушено 16 селений, ранено 300 человек
19 марта 1984 г.	СССР, Узбекистан, Газли	7,2	1	Эпицентр в пустынной местности к северо-западу от Газли
3 марта 1985 г.	Центр Чили	7,6	177	Эпицентр в океане, многочисленные толчки, значительные повреждения в Сантьяго, Вальпараисо, Винья-дель-Мар; повреждены дороги и коммуникации; 2500 раненых, 150 тыс. человек без крова
18 апр. 1985 г.	Китай, Куньмин	5,9	Несколько человек	В Куньмине и Дунчуане повреждены дома
19 сент. 1985 г.	Мексика	8,2	4500	Эпицентр в Тихом океане; в городе Мехико на расстоянии свыше 300 км от эпицентра обрушились многие высокие здания старой постройки, возведенные на слабых грунтах; новый сильный толчок 20 сентября
13 окт. 1985 г.	СССР, Таджикистан, Кайраккум	6,0	Несколько человек	Разрушены жилые и промышленные здания старой постройки; оползни

Таблица А.3. Важнейшие землетрясения в США

Дата	Район	Магнитуда	Интенсивность	Примечания
5 февр. 1663 г.	Район р. Св. Лаврентия		X	Обвалы скал в районе Три-Риверс, пров. Квебек (Канада). Падали трубы в районе зал. Массачусетс
18 нояб. 1755 г.	У п-ва Кейп-Анн, Массачусетс	6,0	VIII	Падение труб и повреждение зданий в Бостоне и окрестностях. В море на многих судах ощущались толчки

Дата	Район	Магнитуда	Интенсивность	Примечания
16 дек. 1811 г.	Нью-Мадрид, Миссури	7,5	XII	Серия из трех крупных землетрясений вызвала значительные изменения ландшафта, образовались озера, реки изменили русла. Ощущалось в Бостоне — на расстоянии 1800 км от эпицентра. Произошло вдали от населенных мест, и число жертв невелико
23 янв. 1812 г.	То же	7,3	XII	
7 февр. 1812 г.	» »	7,8	XII	
10 июня 1836 г.	Хейвард, Калифорния	8,0	X	Разлом Хейвард вспорот на большом протяжении. Многочисленные афтершоки. Обрушение зданий
Июнь 1838 г.	п-ов Сан-Франциско	8,2	X	Разлом Сан-Андреас вспорот на большом протяжении — от Сан-Франциско до Санта-Клары
9 янв. 1857 г.	Форт-Техон, Калифорния	8,3	XI	Смещение на 9 м вдоль разлома Сан-Андреас; разлом вспоролся на протяжении 400 км. Из-за удаленности землетрясения от населенных мест погиб всего один человек
2 апр. 1968 г.	о. Гавайи	7,7	X	Вулканическое извержение на южном склоне горы Мауна-Лоа. Домам причинен большой ущерб. Цунами вызвало гибель 46 человек
21 окт. 1868 г.	Хейвард, Калифорния	7,5	IX	Разлом Хейвард вспорот на большом протяжении. 30 убитых. Много афтершоков
26 марта 1872 г.	Оуэнс-Валли, Калифорния	8,5	XI	Одно из сильнейших землетрясений в США. Уступ на разломе высотой 6 м. 27 погибших
31 авг. 1886 г.	Чарлстон, Южная Каролина	7,0	X	Величайшее землетрясение на востоке США. Несколько афтершоков. Большие повреждения зданий. 110 погибших
31 окт. 1895 г.	Чарлстон, Миссури	(6,5–7,0)	VIII	Падение труб. Землетрясение ощущалось от Канады до Луизианы

Дата	Район	Магнитуда	Интенсивность	Примечания
3 сент. 1899 г.	У Кейп-Якатага, Аляска	8,3	XI	Поднятие суши; сейши; люди не могли удержаться на ногах
10 сент. 1899 г.	Зал. Якутат, Аляска	8,6	XI	Обрушились ледники; большая волна. Суша у берега поднялась на 14 м
9 окт. 1900 г.	Горы Чугач, Аляска	8,3	VIII	На о. Кадьяк повреждены постройки
18 апр. 1906 г.	Сан-Франциско, Калифорния	8,3	XI	Разлом Сан-Андреас вспоролся на протяжении 430 км. Грунт сдвинулся на 6 м. Около 700 человек погибло при землетрясении и пожаре
2 окт. 1915 г.	Плезант-Валли, Невада	7,6	X	Большие подвижки по разлому в ненаселенной местности. Разрушены глинобитные дома
11 окт. 1918 г.	Пуэрто-Рико	7,5	IX	Эпицентр в прол. Мона. Разрушено много зданий. Большой ущерб от цунами. 116 погибших
10 марта 1922 г.	Чоламе-Валли, Калифорния	6,5	IX	Трещины в грунте; повреждения зданий
28 февр. 1925 г.	Район р. Св. Лаврентия	7,0	VIII	Ощущалось на юг до Вирджинии и на запад до р. Миссисипи
27 июня 1925 г.	Манхаттан, Монтана	6,7	VIII	Повреждены здания. Горные обвалы
29 июня 1925 г.	Санта-Барбара, Калифорния	6,3	IX	Зданиям причинен большой ущерб. Пострадала плотина Шеффилд. 13 погибших
4 нояб. 1927 г.	м. Аргуэльо, Калифорния	7,5	X	Эпицентр в море у берегов. Оползни в районе Санта-Барбары. На Гавайях отмечено цунами
5 окт. 1929 г.	о. Гавайи	6,5	VII	Вблизи Каилуа (Кона). Падение стен
16 авг. 1931 г.	Валентайн, Техас	6,4	VIII	Повреждение зданий, падение труб
6 июня 1932 г.	Округ Гумбольдт, Калифорния	6,4	VIII	Эпицентр у берега, в Юрике повреждения зданий. Погиб 1 человек

Дата	Район	Магнитуда	Интенсивность	Примечания
20 дек. 1932 г.	Район горы Сидар, Невада	7,3	X	В то время незаселенный район; трещины в грунте
10 марта 1933 г.	Лонг-Бич, Калифорния	6,3	IX	Многочисленные повреждения зданий, особенно школ. 120 погибших
30 янв. 1934 г.	Район гор Экселсиор, Невада	6,5	VIII	Незначительное поверхностное вспарывание разлома. Небольшие повреждения зданий в Майне
12 марта 1934 г.	Космо, Юта	6,6	VIII	Значительные поверхностные изменения (трещины в грунте, горные обвалы, новые источники). Падение труб. 2 погибших
18 окт. 1935 г.	Хелина, Монтана	6,2	VIII	Повреждение многих зданий. 2 погибших. Сильный афтершок 31 октября (магнитуда 6,0) вызвал гибель еще 2 человек
18 мая 1940 г.	Эль-Сентро, Калифорния	7,1	X	Большие поверхностные смещения вдоль разлома Импириал. Значительные повреждения зданий. 9 погибших. Первый случай получения хорошей акселерограммы, имеющей значение для инженерных расчетов
4 сент. 1944 г.	Север шт. Нью-Йорк	5,6	VIII	Повреждены трубы
1 апр. 1946 г.	Алеутские о-ва (к югу от о. Унимак)	7,5	VI	Сильное цунами поразило Хило (Гавайи), погубив 96 человек и вызвав большие повреждения зданий. При землетрясении погибло 173 человека
23 нояб. 1947 г.	Юго-запад шт. Монтана	6,2	VIII	В Вирджиния-Сити и соседних городах повреждены здания
13 апр. 1949 г.	Олимпия, Вашингтон	7,3	VIII	Повреждено много зданий; 8 погибших
21 авг. 1951 г.	о. Гавайи	6,8	IX	Вдоль побережья Кона повреждено много зданий. Небольшой ущерб от цунами

Дата	Район	Магнитуда	Интенсивность	Примечания
21 июля 1952 г.	Округ Керн, Калифорния	7,7	XI	Обрушился железнодорожный тоннель; в Техачапи повреждения зданий. Много сильных афтершоков. 12 погибших
22 авг. 1952 г.	Бейкерсфилд, Калифорния	5,8	VIII	Повреждения зданий; 2 погибших
16 дек. 1954 г.	Фэрвью-Пик, Невада	7,1	X	На разломе образовались большие уступы. Из-за отдаленности местности жертв не было. В Сакраменто, в 300 км от эпицентра, потоки грязи серьезно повредили водохранилище
16 дек. 1954 г.	Дикси-Валли, Невада	6,8	X	Произошло спустя четыре минуты после предыдущего, в 65 км к северу от него
21 дек. 1954 г.	Юрика, Калифорния	6,6	VII	Небольшие повреждения зданий; много разрывов трубопроводов. 1 погибший
9 марта 1957 г.	Алеутские о-ва (к югу от о. Адак)	8,3	VIII	На о. Адак повреждены здания и мосты. На о-вах Оаху и Кауаи (Гавайи) повреждения от цунами
22 марта 1957 г.	Дейли-Сити, Калифорния	5,3	VII	Небольшие повреждения зданий
7 апр. 1958 г.	Центральная Аляска	7,3	VIII	Валы давления, трещины в грунте
9 июля 1958 г.	бух. Литуя, Аляска	7,9	XI	Землетрясение на разломе Фэррэттер. Огромный оползень породил гигантскую волну. 5 погибших
17 авг. 1959 г.	оз. Хебген, Монтана	7,1	X	Гигантский оползень перегородил р. Мейдисон и образовал «озеро Землетрясения». Сейши на оз. Хебген. Повреждены дома и дороги. Много афтершоков. 28 погибших
27 марта 1964 г.	зал. Принс-Вильям, Аляска	8,4	XI	Известно как землетрясение Страстной пятницы. Тяжелые повреждения в Анкоридже и других городах. Оползни. Большое цунами причинило

Дата	Район	Магнитуда	Интенсивность	Примечания
				ущерб многим прибрежным городам на Аляске; в Кресент-Сити (Калифорния) погибло 11 человек. Всего 131 погибших
29 апр. 1965 г.	Пьюджет-Саунд, Вашингтон	6,6	VIII	В Сизтле, Такоме и окрестностях повреждения зданий. 6 погибших
1 окт. 1969 г.	Санта-Роза, Калифорния	5,7	VIII	Много поврежденных зданий. Спустя час-второй толчок с такой же магнитудой
9 февр. 1971 г.	Сан-Фернандо, Калифорния	6,6	XI	Обрушилось несколько зданий и мостов на автомагистралях. Получено много инструментальных записей. 58 погибших
30 июля 1972 г.	Ситка, Аляска	7,6	VII	Небольшой ущерб
26 апр. 1973 г.	Гавайи	6,2	VIII	К северу от Хило. В Хило и окрестностях повреждение домов и дорог
30 июня 1975 г.	Йеллоустонский национальный парк, Вайоминг	6,4	VII	Горные обвалы; образовались новые гейзеры
1 авг. 1975 г.	Оровилл, Калифорния	5,9	VIII	Небольшие повреждения зданий
29 нояб. 1975 г.	Гавайи	7,2	VIII	Вулканическое землетрясение около Калапаны (на южном берегу). Большие повреждения зданий. Оползни. Цунами причинило ущерб береговой зоне. 2 погибших
13 авг. 1978 г.	Санта-Барбара, Калифорния	5,7	VIII	Умеренные повреждения зданий; поезд сошел с рельс
15 окт. 1979 г.	Империал-Валли, Калифорния	6,7	VII	Протяженное поверхностное вспарывание разлома Импириал. Повреждения домов и каналов
18 мая 1980 г.	гора Сент-Хеленс, Вашингтон	5,2		Вулканическое землетрясение. Предшествовало крупнейшему извержению, вызвавшему гибель 60 человек

Дата	Район	Магнитуда	Интенсивность	Примечания
25 мая 1980 г.	Маммот-Лейкс, Калифорния	6,1	VII	С 25 по 27 мая произошло три землетрясения с магнитудами больше 6,0. Много более слабых толчков. Многочисленные горные обвалы в горах Сьерра-Невада
27 июля 1980 г.	Север шт. Кентукки	5,3	VII	Небольшие повреждения зданий
8 нояб. 1980 г.	Юрика, Калифорния	7,4	VII	Эпицентр в океане у берега. Обрушился мост на автомагистрали; повреждения современных зданий. 5 раненых
2 мая 1983 г.	Коалинга, Калифорния	6,5	VIII	Разрушено много старых зданий. 45 раненых, 1 погибший
28 окт. 1983 г.	Айдахо	6,9		В Маккае и Чаллисе повреждения зданий. 2 погибших
24 апр. 1984 г.	Район горы Гамилтон, Калифорния	6,2		Землетрясение на разломе Калаверас, в 20 км к востоку от Сан-Хосе. Многочисленные повреждения жилых и общественных зданий. Несколько раненых

## Дополнительная литература

1. *Ballard R. D.* Exploring Our Living Planet. National Geographic Society, Washington, D. C., 1983, 366 pp. (Превосходное описание Земли, в том числе основ геологии, тектоники плит, землетрясений, вулканизма, горообразования и многого другого. Богато иллюстрировано хорошими цветными фотографиями.)
2. *Bolt B. A.* Earthquakes: A Primer. W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1978, 241 pp. (Блестящее изложение, рассчитанное на широкий круг читателей, однако авторитетное и познавательное и для наиболее серьезных студентов. Охватывает все аспекты науки о землетрясениях. Проф. Болт не только обладает богатыми познаниями, но и владеет ясным и сжатым стилем изложения.) [Имеется перевод: Болт Б. Землетрясения: общедоступный очерк.—М.: Мир, 1981.]
3. *Bolt B. A., Horn W. L., Macdonald G. A. and Scott R. F.* Geological Hazards. 2nd ed., Springer-Verlag, New York, 1977, 330 pp. (Охватывает проблемы землетрясений, вулканов, цунами, оползней, наводнений, рассчитана на широкого читателя.) [Имеется перевод 1-го изд.: Болт Б. А., Хорн У. Л., Макдональд Г. А., Скотт Р. Ф. Геологические стихии.—М.: Мир, 1978.]
4. *Canby T. Y.* California's San Andreas Fault. National Geographic Magazine, **143**, No. 1 (January 1973), pp. 38-53. (Описывается разлом Сан-Андреас и его поведение.)
5. *Canby T. Y.* Can We Predict Quakes? National Geographic Magazine, **149**, No. 6 (June 1976), pp. 830-835. (Описываются методы предсказания землетрясений.)
6. Continents Adrift and Continents Aground. Readings from Scientific American, with introductions by J. Tuzo Wilson. W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1976, 230 pp. (Содержит перепечатку 17 статей по тектонике плит, дрейфу континентов, разрастанию океанического дна и строению Земли. Солидный источник для серьезных студентов.)
7. *Eiby G. A.* Earthquakes. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1980, 209 pp. (Серьезное и превосходное изложение для вдумчивого читателя.) [Имеется перевод: Эйби Дж. А. Землетрясения.—М.: Недра, 1982.]
8. *Gere J. M. and Shah H. C.* A Visit to Tangshan. The Stanford Engineer (Fall/Winter 1980-81), pp. 15-22. (Описание Таншаньского землетрясения 1976 г. в Китае.)
9. *Graves W. P. E.* Earthquake! National Geographic Magazine, **126**, No. 1 (July 1964), pp. 112-139. (Описание Аляскинского землетрясения 27 марта 1964 г., текст и иллюстрации.)
10. *Halacy D. S., Jr.* Earthquakes. Bodds-Merrill Co., Indianapolis, 1974, 162 pp. (Книга общего характера для широкого читателя.)
11. *Heitzler J. R.* Where the Earth Turns Inside Out. National Geographic

- Magazine, 147, No. 5 (May 1975), pp. 586-603. (Описание погружения в глубину океана в районе Срединно-Атлантического хребта.)
12. The Home Builder's Guide for Earthquake Design. Applied Technology Council, Palo Alto, California, 1980, 63 pp. (Эта брошюра содержит практические рекомендации по проектированию и постройке частных домов. Может быть получена по адресу: Applied Technology Council, 2471 E. Bayshore Road, Suite 512, Palo Alto, California 94303.)
  13. *Iacopi R.* Earthquake Country. Lane Books, Menlo Park, California, 1971, 160 pp. (Описание Калифорнийских землетрясений и важнейших разломов, в особенности разлома Сан-Андреас. Книга общего характера для широкого читателя.)
  14. *Matthews S. W.*, This Changing Earth. National Geographic Magazine, 143, No. 1 (January 1973), pp. 1-37. (Описываются землетрясения, движения плит, разрастание океанического дна и другие геологические явления.)
  15. *McDowell B.* Earthquake in Guatemala. National Geographic Magazine, 149, No. 6 (June 1976), pp. 810-829. (Описание землетрясения 4 февраля 1976 г. в Гватемале, текст и иллюстрации.)
  16. *Press F. and Siever R.* Earth. 3rd ed., W. H. Freeman & Co., San Francisco, 1982, 613 pp. (Хорошее учебное пособие по всем аспектам наук о Земле. Для студентов и других вдумчивых читателей.)
  17. *Richter C. F.* Elementary Seismology. W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1958, 768 pp. (Классическое учебное пособие по сейсмологии; содержательный источник для начинающих студентов, изучающих землетрясения.) [Имеется перевод: Рихтер Ч. Ф. Элементарная сейсмология.— М.: ИЛ, 1963.]
  18. *Rikitake T.*, Earthquake Prediction. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, 1976, 357 pp. (Специальное издание справочного характера, солидное и тщательно подготовленное.) [Имеется перевод: Рикитакэ Т. Предсказание землетрясений.— М.: Мир, 1979.]
  19. *Thomas, Mrs. Lowell, Jr.*, Night of Terror. National Geographic Magazine, 126, No. 1 (July 1964), pp. 142-156. (Впечатления очевидцев, упевлевших в оползне на Тернагейн-Хайтс при Аляскинском землетрясении 27 марта 1964 г.)
  20. *Verney P.* The Earthquake Handbook. Paddington Press, Ltd., New York and London, 1979, 224 pp. (Книга общего характера для широкого круга читателей.)
  21. *Yanev P.* Peace of Mind in Earthquake Country. Chronicle Books, San Francisco, 1974, 304 pp. (Превосходный источник информации для домовладельцев.)
  - 22\*. Анистратов А. А., Стародубцев В. С. Как построить сейсмостойкий дом. — Фрунзе: Киргизстан, 1984.
  - 23\*. Горшков Г. П. Региональная сеймотектоника территории юга СССР.— М.: Наука, 1984.
  - 24\*. Друмя А. В., Шебалин Н. В. Землетрясение: Где? Когда? Почему?— Кишинев: Штиинца, 1985.
  - 25\*. Мартемьянов А. И. Особенности проектирования и строительства сельских зданий в сейсмических районах.— М.: Стройиздат, 1975.
  - 26\*. Медведев С. В. Инженерная сейсмология.— М.: Госстройиздат, 1962.
  - 27\*. Медведев С. В., Шебалин Н. В. С землетрясением можно спорить.— М.: Наука, 1967.
  - 28\*. Поляков С. В. Последствия сильных землетрясений.— М.: Стройиздат, 1978.

---

\*) Добавлено переводчиком.

## ДРУГИЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

Книги и отчеты, содержащие общую информацию о землетрясениях и их проявлениях, можно найти во многих библиотеках. Для получения специальных сведений, например по геологическим исследованиям в отдельных районах, следует обратиться в ближайшее отделение Геологической службы США, Калифорнийского управления горных работ и геологии или в управление по планировке вашего города. Специалисты по строительству и геологии иногда предлагают консультации специально по вопросам сейсмостойкого проектирования. Кроме того, во многих городах имеются центры по борьбе со стихийными бедствиями или аварийные службы, которые могут помочь в мерах подготовки к землетрясениям. (Советскому читателю мы рекомендуем в необходимых случаях обращаться к районному архитектору, в Госстрой республики или в ближайшее сейсмологическое учреждение республиканской Академии наук.— Перев.)

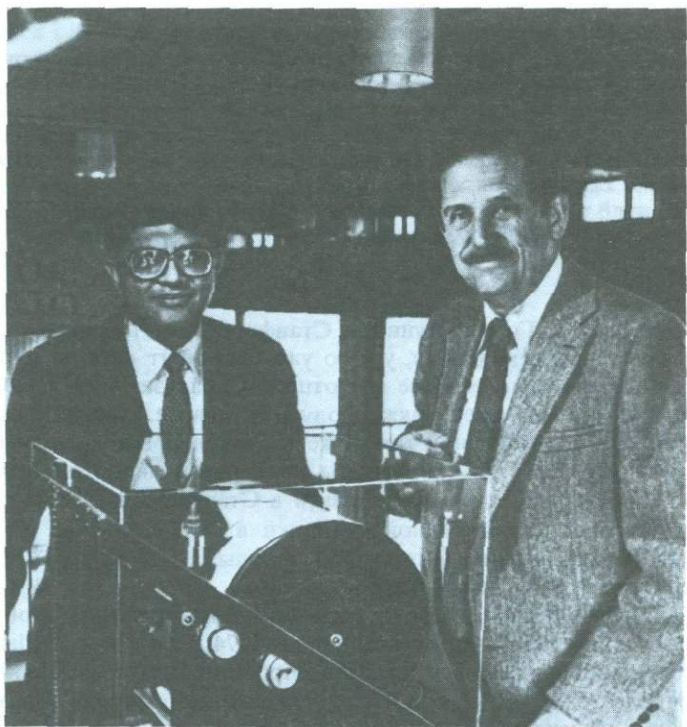
## Об авторах

Когда Джеймс М. Гир поступил в Станфордский университет, чтобы изучать прикладную механику, у него уже был опыт работы в качестве стажера в строительной фирме его отца в Сиракузах (шт. Нью-Йорк). К тому времени он успел также получить ученые степени бакалавра и магистра по строительной механике в Ренселеровском политехническом институте. Сразу после защиты докторской диссертации он был послан на Запад и остался преподавать в Станфордском университете, став профессором строительной механики в 1962 г. С 1960 по 1970 г. был заместителем декана Инженерной школы, а с 1967 по 1972 г. возглавлял Отдел гражданского строительства.

После этого он обратился к изучению землетрясений и обучению и подготовке инженеров-антисейсмиков. В 1974 г. он и проф. Шах стали содиректорами Центра сейсмостойкого проектирования им. Дж. А. Блюма в Отделе гражданского строительства. В лаборатории Центра дипломники и студенты учатся проектировать надежные конструкции всех типов.

Проф. Гир – автор семи учебников и множества статей. Он член Американского общества инженеров-строителей и сотрудник Научно-исследовательского института инженерной сейсмологии. Когда он свободен от преподавательской деятельности, от консультаций местным группам подготовки к землетрясениям, обследования районов землетрясений и моделирования землетрясений в лаборатории, Дж. Гир бродит пешком с рюкзаком по Сьерра-Неваде, в отдаленных уголках Большого Каньона или на Кауаи. Он взбирался на вершины всех гор, обозначенных на рис. 8.1 этой книги. Он и его жена Дженис живут в Станфордском комплексе, у них дочь и два сына.

Хареш Ч. Шах рано начал зарубежные поездки. В 1959 г. он оставил свой дом в Пуне (Индия) ради учебы в Станфордском университете, где в 1963 г. защитил докторскую диссертацию по строительным конструкциям. После шести лет работы на факультете в Пенсильванском университете он вернулся в 1968 г. в Станфордский университет, где занялся преподавательской деятельностью и взял на себя объединение



(Фото Ч. Пейнтера; с разрешения Stanford News and Publications.)

факультетских сил в области сейсмостойкого проектирования, что привело к образованию Центра сейсмостойкого проектирования им. Дж. А. Блюма. С 1973 г. Х. Шах – профессор кафедры строительных конструкций. Он также отдает много времени работе в качестве консультанта предприятий, организаций, администрации округов, штата и правительства.

Проф. Шах совершает много поездок как советник правительства стран Центральной и Южной Америки, Северной Африки, Европы и Азии, он трижды был в Китае и по своим последним подсчетам пять раз объехал вокруг земного шара. Он помогал правительствам Никарагуа, Коста-Рики, Гондураса, Гватемалы и Алжира в организации борьбы с разрушительными последствиями землетрясений, участвуя в разработке административных положений и строительных норм и способствуя развитию сейсмостойкого строительства. Он работал над проблемами, связанными с землетрясениями, в Национальном научном фонде, ЮНЕСКО, НАТО и в Организации ООН по вопросам помощи при катастрофах (УНДРО).

Хотя проф. Шах может провести одну неделю в Японии, а другую – в Вашингтоне, он сумел найти время, чтобы опубликовать более 150 научных статей, работать в Совете директоров научно-исследовательского института инженерной сейсмологии и играть видную роль в других профессиональных организациях.

Х. Шах тоже любит бродить пешком и взбираться по скалам как в Сьерра-Неваде, так и в районе Ладакх в Гималаях. Он и его жена Джоан живут в Станфордском комплексе вместе с двумя сыновьями.

# Предметный указатель

- Аварийно-спасательные работы 152, 178  
Акселерографы, акселерограмма 100  
Астеносфера 32, 33  
Афтершоки 154
- Безопасность зданий 17–20, 139, 146, 161  
*Беньоффа* зоны 33, 68
- Виброизоляторы** 151  
Виды землетрясений 27  
Водохранилища как причина землетрясений 38–42  
Вулканов цепи 34
- Геомагнетизм 123  
Гибкость конструкций 142  
Глубоководные желоба 34  
Горячие точки 36  
*Гутенберга* формула 97
- Движения земной коры 121  
Деформации 122  
Дилатансия 124
- Жертвы землетрясений 22, 193–205
- Закачка в скважины 42  
Землетрясения внутриплитовые 27, 35  
– межплитовые 27, 37  
Земное электричество 123
- Изосейсты 107, 108  
Инженерная сейсмология 136  
Интенсивность землетрясения 100
- Крутильные колебания 141
- Литосферные плиты 27–29, 32, 33, 36, 47, 68
- Магнитуда землетрясения 84, 91, 193  
Механизм землетрясения 84  
Модифицированная шкала Меркалли 104–107, 141
- Нагрузка на здания 140  
Наклоны земной поверхности 122
- Опасные последствия землетрясений 46  
Оползни 45–55, 71  
– в бухте Литуя (Аляска, США) 47, 48  
– на горе Уаскаран (Перу) 47, 48  
Определение координат очага землетрясения 91, 92  
Оседание грунта 56  
Ответственные сооружения 152
- Палмдейлский горб 121  
Плотина Ван-Норман (США) 54, 57–59, 153  
– Гувер (США) 38, 153  
– Койна (Индия) 40  
– Оровилл (США) 114, 156

- Хебген-Лейк (США) 59
- Шеффилд (США) 54, 59
- Плотины 38–40, 57, 152
- Повреждение сооружений 21
- Постройки из сырцового кирпича 59–61
- Потерь уменьшение 134–136
- Предвестники землетрясений 120–124
- Предупреждение о цунами 78
- Причины землетрясений 27, 28, 38
- Прогноз землетрясений 110–118, 128
  - в Китае 110–113, 127
  - в СССР 114
  - в США 113
  - в Японии 115
  - статистический 118
- Проектирование зданий 138–143
  
- Радона содержание 123
- Разжижение грунта 52–56
- Разлом Калаверас 114
  - Мотагуа 37, 39, 60
  - Сан-Андреас 24, 34, 39, 86, 122, 158–160
  - Фэрзуэтер 47
- Разломы 34, 38–41, 85, 164
- Рихтера* магнитуда 91–99, 193
  
- Сейсмическая опасность 132–134
  - энергия *см.* Энергия землетрясения
  - связь с магнитудой 97–99
- Сейсмические волны 87–92, 122
  - нагрузки 139
  - затишья 119
- Сейсмический момент 99
  - риск 132, 177
  
- Сейсмических волн скорости 122
- Сейсмическое окно 125
  - районирование и микрорайонирование 9, 163
- Сейсмичность 121
- Сейсмичные зоны 15, 27, 30, 133
- Сейсмограммы 90
- Сейсмографы 90
- Системы жизнеобеспечения 149–151, 178
- Спрединг океанического дна 28, 32
- Срединно-океанические хребты 28, 29, 32
- Страхование от землетрясений 167
- Строение Земли 32
- Строительные нормы и правила 144
- Субдукции зоны 27, 28, 33, 66
- Субдукция 33
  
- Тектоника плит 43, 66
  
- Укрепление зданий 146–149, 171
- Уровень воды в колодцах и скважинах 122
- Ущерб от цунами 64, 77
  
- Хорошие конструкции 134
- Хрупкость конструкций 142
  
- Цунами 34, 62–82
  - в Кресент-Сити (США) 64, 66, 79
  - в Хило 73–76
  - в Японии 65
  - на о. Ченег (Аляска, США) 63, 68
  - причины 65–71
  
- Энергия землетрясения 87, 96–99

## Указатель землетрясений

- Акита, Япония, 1983 г. 128  
Аляска, США, 1964 г. 52, 63, 67–69  
Гватемала, 1976 г. 13, 17, 37, 60, 130  
Импириал-Валли, США, 1979 г. 174  
Коалинга, США, 1983 г. 8, 12, 18, 90, 128, 142, 179, 180  
Лиссабон, 1755 г. 14, 15  
Лонг-Бич, США, 1933 г. 171  
Манагуа, Никарагуа, 1972 г. 17, 18, 134, 136, 137  
Ниигата, Япония, 1964 г. 54  
Нью-Мадрид, США, 1811–1812 гг. 36, 134  
Оровилл, США, 1975 г. 114  
Оуэнс-Валли, США, 1872 г. 102, 160  
Санта-Барбара, США, 1925 г. 54, 59  
— 1978 г. 178  
Сан-Фернандо, США, 1971 г. 13, 18, 21, 35, 54, 57, 108, 128, 134, 136, 141, 143, 144, 151, 165, 183, 184  
Сан-Франциско, 1906 г. 24, 54, 56, 85, 145  
Таншань, Китай, 1976 г. 12, 18, 23, 56, 127, 136, 154  
Форт-Техон, 1857 г. 35  
Фэрвью-Пик, США, 1954 г. 40, 86  
Хайчэн, Китай, 1975 г. 110  
Чарлстон, США, 1886 г. 36  
Чили, 1906 г. 75  
Эль-Аснам, Алжир, 1980 г. 23, 86, 148, 168

## УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Ваши замечания о содержании книги, ее оформлении, качестве перевода и другие просим присылать по адресу: 129820, Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д. 2, издательство «Мир».

Научно-популярное издание

Джеймс М. Гир, Хареш Ч. Шах

### ЗЫБКАЯ ТВЕРДЬ

Что такое землетрясение  
и как к нему подготовиться

Старший научный редактор В. А. Пантаева  
Младший редактор Т. А. Доронина  
Художник В. А. Конюхов  
Художественный редактор А. Я. Мусин  
Технический редактор И. И. Володина  
Корректор М. А. Смирнов  
ИБ № 5869

Сдано в набор 16.01.87. Подписано к печати 16.11.87. Формат 60 × 90<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Гарнитура таймс. Объем 7,0  
бум. л. Усл. печ. л. 14,0. Усл. кр.-отт. 29,25. Уч.-изд. л. 14,1. Изд.  
№ 5/4710. Тираж 63 000 экз. Зак. 77. Цена 85 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2

Можайский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.

г. Можайск, ул. Мира, 93.

# Издательство «Мир»

готовит к выпуску в 1989 г.

## **Моги К. ПРЕДСКАЗАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Пер. с англ.—25 л., ил.—В пер.: 4 р. 10 к.

Автор книги — один из ведущих специалистов в области исследования землетрясений. А страна, которую он представляет, — Япония — больше других страдает от землетрясений и имеет большие достижения в изучении этих грозных явлений природы.

В книге обобщен опыт работ по прогнозу землетрясений в нескольких странах, в том числе СССР, но главенствующая роль здесь принадлежит Японии. Описаны результаты модельных исследований на образцах горных пород, дан подробный и всесторонний анализ конкретных землетрясений. Предложен способ долгосрочного прогнозирования землетрясений на основе наблюдаемой связи глубоких и мелких землетрясений. Сопоставляются особенности долгосрочного и краткосрочного предсказания землетрясений.

Для сейсмологов, геофизиков, геологов и горняков, занимающихся проблемами изучения сейсмической и горной опасности, доступна также для читателей-неспециалистов.

# Издательство «Мир»

готовит к выпуску в 1989 г.

## **Шарма П. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОЛОГИИ**

Пер. с англ.—33 л., ил.—В пер.: 5 р. 40 к.

В книге известного датского геофизика рассматриваются вопросы применения современных геофизических методов на этапе регионального и глубинного изучения земной коры. Описываются сейсмические методы (методы отраженных и преломленных волн), основы сейсмологии и сейсмотектоники; изложены методы гравиметрии, магнитометрии, палеомагнитных исследований, а также электрические и электромагнитные методы. Значительное внимание уделяется радиометрическим и геотермическим исследованиям, в частности применительно к разведке рудных месторождений и термальных вод. Приведены примеры комплексного применения геофизических методов.

Для геофизиков и геологов различных специализаций, работающих в области поисков и разведки, а также для студентов геологических специальностей.

Предварительные заказы на книгу принимаются всеми магазинами, распространяющими научно-техническую литературу. Кроме того, в любой из магазинов, имеющих отдел «Книга—почтой», можно отправить специальную открытку с заказом, в котором следует указать: «Мир», 1989, № по темплану, фамилию автора и название книги, а также свой адрес.

# Издательство «Мир»

готовит к выпуску в 1989 г.

## **Скиннер Б. ХВАТИТ ЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВУ ЗЕМНЫХ РЕСУРСОВ?**

Пер. с англ.—12 л., ил.—В пер.: 1 р. 20 к.

В книге известного американского геолога в научно-популярной форме анализируются данные об использовании различных видов земных ресурсов в хозяйственной деятельности человечества, в частности железа, марганца, титана, магния, меди, никеля, свинца, цинка, молибдена, серебра, платины, золота, хрома и олова, а также неметаллических полезных ископаемых: азота, соды, фосфора, серы и строительных материалов. Ставится вопрос об истощении запасов полезных ископаемых в ближайшем будущем в результате постоянного увеличения объема добычи большинства полезных ископаемых. обстоятельное рассмотрение этой проблемы показывает, что человечеству в обозримом будущем не грозит голод на минеральные ресурсы вследствие вовлечения в переработку более бедных руд, перехода на альтернативные минеральные источники того же полезного компонента и искусственного получения требуемого сырья.

Для широкого круга геологов и лиц, интересующихся науками о Земле.

Предварительные заказы на книгу принимаются всеми магазинами, распространяющими научно-техническую литературу. Кроме того, в любой из магазинов, имеющих отдел «Книга—почтой», можно отправить специальную открытку с заказом, в котором следует указать: «Мир», 1989, № по темплану, фамилию автора и название книги, а также свой адрес.

«Пока вам не пришлось самому испытать сотрясение земли, попытайтесь все же вообразить: что это такое — землетрясение? Представьте, что в момент, когда оно произошло, вы сидите у себя за столом. Оно возникает совершенно неожиданно. Первый толчок заставляет вас встрепенуться и спросить: "Что это?" Пока вы пытаетесь осознать происходящее, в вашей голове проносятся разные мысли: "Грузовик что ли прошел? Что-нибудь упало?" Если толчки продолжаются, до вас доходит, что это не просто какой-то удар, а настоящее землетрясение, и сразу же возникают пугающие мысли: "Долго ли это будет продолжаться? Почему оно не перестает? Не развалится ли дом? Что мне делать?"

Эти мысли проносятся в вашем сознании за считанные секунды. Если сотрясения вскоре прекратятся, вы почувствуете огромное облегчение. Но если они продолжаются, ваше сердце начинает колотиться, и вы инстинктивно делаете *что-нибудь*, даже если это действие будет вам во вред. Кто кричит, кто бежит к выходу, кто замирает в ужасе... К тому же мы привыкли к мысли, что пол под нами надежен, как земная твердь, и в самом деле страшно ощутить, что надежности в нем больше нет.»