

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ИХ ПРИЧИНЫ

Б. А. Петрушевский

Доктор геолого-минералогических наук

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта (Москва)

НЕ КАЖДОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ — КАТАСТРОФА

В 1960 г. человечество постигли два катастрофических землетрясения, унесших тысячи жертв. В феврале был разрушен город Агадир в Марокко, в котором погибло около 15 тыс. человек. Едва успели сойти со страниц газет сообщения об Агадире, как произошло сильнейшее Чилийское землетрясение или, точнее, ряд землетрясений в течение нескольких дней. Эти удары вызвали изменения рельефа поверхности земли в Южном Чили. Огромные морские волны, вызванные землетрясением, с быстротой самолета пробежали через океан и обрушились на берега отстоящих более чем на 15 тыс. км участков суши — Филиппин, Японии, Курильских островов, Камчатки.

Чилийское землетрясение — одно из сильнейших за последние 55—60 лет. Только благодаря сравнительно малой населенности тех областей Чили, где оно произошло, число жертв относительно невелико — около 10 тыс.; судя по газетным данным, почти два миллиона людей остались без крова.

Землетрясения, подобные Агадирскому или Чилийскому, надолго остаются в памяти людей. Не случайно поэтому, что среди всех стихийных бедствий на первом месте стоят землетрясения; сведения о них мы находим в хрониках и летописях всех времен и народов, в том числе самых древних. Представление о землетрясениях, как о катастрофах, укоренилось и в литературных произведениях, притом не только в фантастических и приключенческих.

Грандиозная чилийская катастрофа и сходные с ней по своим разрушительным последствиям землетрясения — явления очень редкие.

В настоящее время, при развитой сети

сейсмических станций, на земном шаре ежегодно регистрируется около 100 тыс. землетрясений, из которых всего около 100 (или 0,1%) относятся к сильным. Катастрофические же землетрясения, влекущие за собой огромные разрушения, а иногда гибель многих тысяч людей, происходят примерно один раз в год. Изучая землетрясения, ученые рассматривают не только самые сильные из них, но и гораздо более многочисленные слабые, изучение которых дает ценный материал для понимания ряда особенностей и сильных ударов.

ТИПЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Как известно, по своему происхождению землетрясения не одинаковы. Среди них различаются три типа: обвальные, вулканические и тектонические.

Обвальные землетрясения, как это следует из самого названия, происходят в результате подземных обвалов в пещерах, многочисленных в легко растворимых горных породах — известняках, гипсах. При падении с их потолка трещиноватых или подмытых водами крупных масс горных пород в ближайших окрестностях ощущаются сотрясения почвы. Однако они никогда не бывают сильными и проявляются на очень небольших площадях.

Землетрясения при вулканических извержениях иногда вызываются непосредственно вулканическим взрывом, как было при извержении Кракатау (1883 г.) в Зондском проливе, но иногда слабые толчки довольно задолго предваряют основное извержение. Так, при извержении Везувия в 79 г. н. э. слабые толчки начались за 16 лет до основного вулканического взрыва; существует мнение, что Помпея, Геркуланум и другие города, засыпанные пеплом в 79 г., в значительной мере были разрушены

именно этими предварительными толчками. Хотя вулканические землетрясения иногда достигают довольно большой силы, но разрушительные последствия от них наблюдаются лишь на сравнительно небольшой площади — только в районе, прилегающем к вулкану.

Наиболее распространенный тип землетрясений — тектонические. Напомним, что тектоникой называют отрасль геологии, изучающую движения и деформации земной коры и те особенности ее строения, которые создаются этими движениями.

ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Читатели, несомненно, знают, что земная кора, при всей видимой ее неподвижности, в действительности испытывает различные движения. Они могут быть более быстрыми и более медленными, локальными и захватывающими огромные территории, длительными и эпизодическими, вертикальными и горизонтальными и т. д. Происходили они и во все прошедшие геологические эпохи.

По-видимому, наиболее распространены на земном шаре вертикальные движения, вызывающие поднятия одних районов и опускания других. В качестве примера крупного общего поднятия на огромную высоту в недавнее геологическое время укажем Памир и Тибетское нагорье. Примерами крупных районов глубоких опусканий могут служить котловины Черного и Каспийского морей. Наряду с подобными движениями, существуют более дифференцированные, которые в пределах этих участков в свою очередь вызывают возникновение поднятий и прогибаний на значительно меньших площадях.

Менее ясен вопрос о горизонтальных движениях. Одни ученые отводят им большое место в развитии деформаций земной коры, другие — резко подчиненное. Вероятно, горизонтальные силы и движения в земной коре имеют серьезное значение, хотя и уступающее первое место вертикальным.

В результате некоторых тектонических движений слои горных пород, слагающие поверхностную часть земной коры, сминаются в складки; размеры их очень различны — от десятков и сотен метров до десятков и сотен километров в длину. Группы крупных складок благодаря последующим поднятиям образуют системы горных цепей и кряжей (например, горы Крыма и Кавказа). Слои горных пород могут подвергаться изгибанию

(т. е. складчатой деформации) лишь до известных пределов, после чего происходит расстрескивание, разламывание складок. В толщах горных пород образуются трещины, называемые геологами разломами или расколами. Некоторые из них достигают десятков и сотен километров в длину. По-видимому, на такие же расстояния крупные разломы уходят в глубины Земли. Надо, однако, подчеркнуть, что нельзя говорить о непрерывности разломов большого напряжения как на земной поверхности, так и в глубинах; в действительности мы имеем здесь зоны разломов, состоящие из отдельных меньших трещин. Можно считать твердо установленным, что в глубине Земли бывают так называемые слепые разломы, не достигающие поверхности и никак не сказывающиеся на ней. Ориентированы разломы по-разному, они могут быть вертикальными, круто или полого наклоненными или же почти горизонтальными.

В случаях, когда тектонические движения приводят к преимущественному возникновению разломов, складкообразование имеет подчиненное значение. Это наблюдается чаще всего там, где соседние участки испытывают вертикальные движения разного знака — одни поднимаются, другие опускаются. Возможны случаи, когда соседние участки испытывают движения одного знака, но скорость этих движений различна. В местах сочленения по-разному движущихся участков и образуется разлом.

По таким разломам происходит перемещение одной части складки относительно другой или перемещение целой группы складок, крупных массивов, надвигание одних участков на другие в виде гигантских чешуй и т. д.

РАЗЛОМЫ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Значение разломов очень велико для сейсмичности. Ведь именно при образовании разломов, возникающих в земной коре на самой различной глубине, или при вторичных подвижках по ранее сформировавшимся разломам и происходят тектонические землетрясения. Весьма часто это наблюдается при образовании зон разломов на сочленениях участков, испытывающих вертикальные движения разного знака. Так, крымские землетрясения связаны с зоной разлома на сочленении поднимающихся Крымских гор и опускающейся котловины Черного моря.

С сочленением поднимающегося Гиссарского хребта и прогибающейся Таджикской депрессии связаны многие сильные землетрясения. Аналогичные примеры известны и во многих других районах.

Остановимся коротко на причинах тектонических движений. К сожалению, эта важная геологическая проблема еще не нашла вполне удовлетворительного разрешения. В общем виде можно говорить, что тектонические движения — это результат глубинных процессов в Земле, по природе их во многом неясна. По-видимому, здесь следует считать с возможностью различных факторов. Упомянем о длительном, в течение всей истории Земли, перераспределении вещества в ее недрах в зависимости от тяжести и плотности; о смене явлений сжатия и расширения вещества на глубине и т. д. В результате этих сложных физико-химических процессов, происходящих ниже земной коры и захватывающих, вероятно, большие глубины Земли, в коре развиваются огромные напряжения. Их следствием и является возникновение тектонических движений, в том числе движений, которые вызывают образование разломов.

Длительно накапливающиеся в земной коре напряжения в конце концов достигают предела прочности горных пород. Когда это наступает, происходит мгновенное разрывание напряжений, образуется зона дробления, или разлом, представляющий собой очаг землетрясения. От этого очага, находящегося на той или иной глубине в пределах земной коры, во все стороны расходятся упругие волны, скорость которых очень велика — от 4 до 14 км в секунду. Когда эти волны достигают земной поверхности, люди ощущают производимые ими сотрясения как землетрясение.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СОТЯСЕНИЙ ПРИ ПОДЗЕМНЫХ УДАРАХ

Если бы в глубине Земли среда была идеально однородной и совершенно одина-

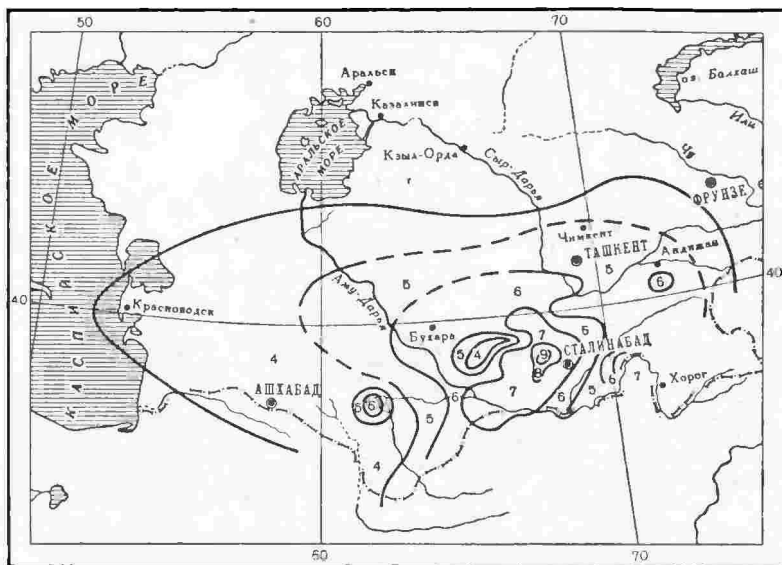


Рис. 1. Карта изосейст Каратагского землетрясения 1907 г. (по Г. П. Горшкову). Цифры обозначают силу сотрясения в баллах

ковые условия были бы на ее поверхности, то упругие волны от очага, или гипоцентра землетрясения (от греческого слова гипо — глубокий), распространялись бы правильными эллипсами. Однако мы знаем, что и глубинная среда неоднородна и на поверхности земли условия различные (например, по составу горных пород, рельефу, степени обводненности). Это сильно влияет на характер проявления сейсмических волн; их распространение происходит по достаточно прихотливо очерченным фигурам, различным в разных условиях. Линии, ограничивающие на земной поверхности зоны равных по силе сотрясений, называются изосейстами (рис. 1).

Ощутимые сотрясения при катастрофических землетрясениях распространяются на тысячи километров. Во время землетрясения 1911 г. в районе Алма-Аты (называвшейся тогда Верным) сотрясения ощущались на территории всей Средней Азии. На еще большей площади чувствовалось землетрясение 1889 г., эпицентр¹ которого находился в районе Чилика, восточнее Алма-Аты, — сотрясения были замечены не только во всей восточной части Средней Азии, но и

¹ Место на поверхности Земли над очагом землетрясения по кратчайшему расстоянию (от греческого слова эпи — над, над центром).

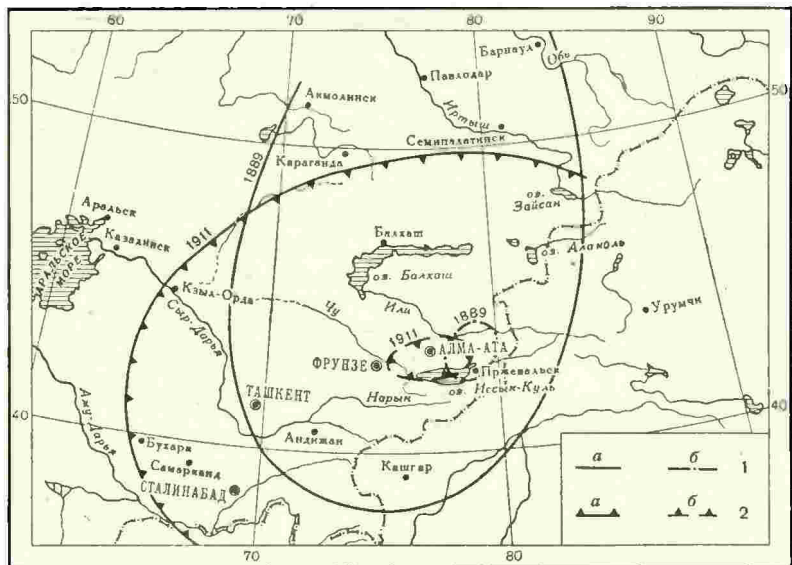


Рис. 2. Карта Чиликского землетрясения 1889 г. и Верненского землетрясения 1911 г. (по Г. П. Горшкову). 1а — границы зоны ощутимых колебаний почвы при Чиликском землетрясении; 1б — границы зоны значительных разрушений при этом ударе; 2а — границы зоны ощутимых колебаний почвы при Верненском землетрясении; 2б — границы зоны значительных разрушений при этом ударе

наблюдаются вслед за основным ударом, то это было бы важно при предсказании времени возможного в будущем землетрясения. К сожалению, такой закономерности не удается подметить, хотя и известны случаи подземных толчков, предшествующих главному землетрясению. Дополнительную трудность представляет здесь и то, что ученые пока не могут сказать — являются ли эти слабые толчки самостоятельными слабыми землетрясениями, или же за ними последует сильный удар.

ГЕОГРАФИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Возникновение землетрясений связано с разломами, образующимися в толще земной коры в результате тектонических движений. Поэтому естественно, что районы, где

в Северо-Западном Китае, в Казахстане и даже в ряде районов Западно-Сибирской низменности (рис. 2). При Красноводском землетрясении 1895 г. значительные колебания почвы наблюдались вплоть до Сызрании.

Приборы для записей землетрясений — сейсмографы — отмечают колебания от сильных землетрясений, происшедших в любом пункте земного шара. Сейсмическая станция, расположенная в Москве, регистрирует все сильные землетрясения, причем независимо от того, были они на суше или под дном моря.

Как правило, землетрясение не происходит в виде одного удара. Обычно оно сопровождается серией более слабых толчков, некоторые из которых бывают значительными землетрясениями. Несмотря на свою меньшую силу, они нередко вызывают большие разрушения, так как происходит после того, как первый удар уже серьезно повредил постройки. В первые дни после сильного землетрясения таких повторных толчков иногда бывает очень много — десятки, сотни, а в некоторых случаях тысячи за короткий промежуток времени. Если бы сильное землетрясение предварялось, как правило, более слабыми толчками, подобно тому, как они

происходят землетрясения, приурочены к областям, в которых эти движения в настоящее время и в недавнем геологическом прошлом были интенсивнее, чем в других областях.

Рассматривая географию землетрясений, следует предварительно сказать несколько слов о некоторых особенностях строения земной коры, с которыми связано распределение землетрясений. Как известно, Земля состоит из ряда оболочек, окружающих внутреннее ядро. Самую верхнюю оболочку называют земной корой; толщина ее сравнительно невелика (25—30 км, максимум до 60—70 км). Под океанами кора еще тоньше. Одна из характерных особенностей земной коры — ее неоднородность в горизонтальном направлении. В ней есть более стабильные, жесткие и более подвижные участки. Первые — это районы, в которых в давнее геологическое время происходили складкообразовательные процессы, сопровождавшиеся внедрением гранитов и других массивных глубинных горных пород. В последующей геологической истории в таких районах, называемых платформами, интенсивные тектонические движения обычно отсутствовали. В районах, где на раннем этапе развития складкообразование проявлялось

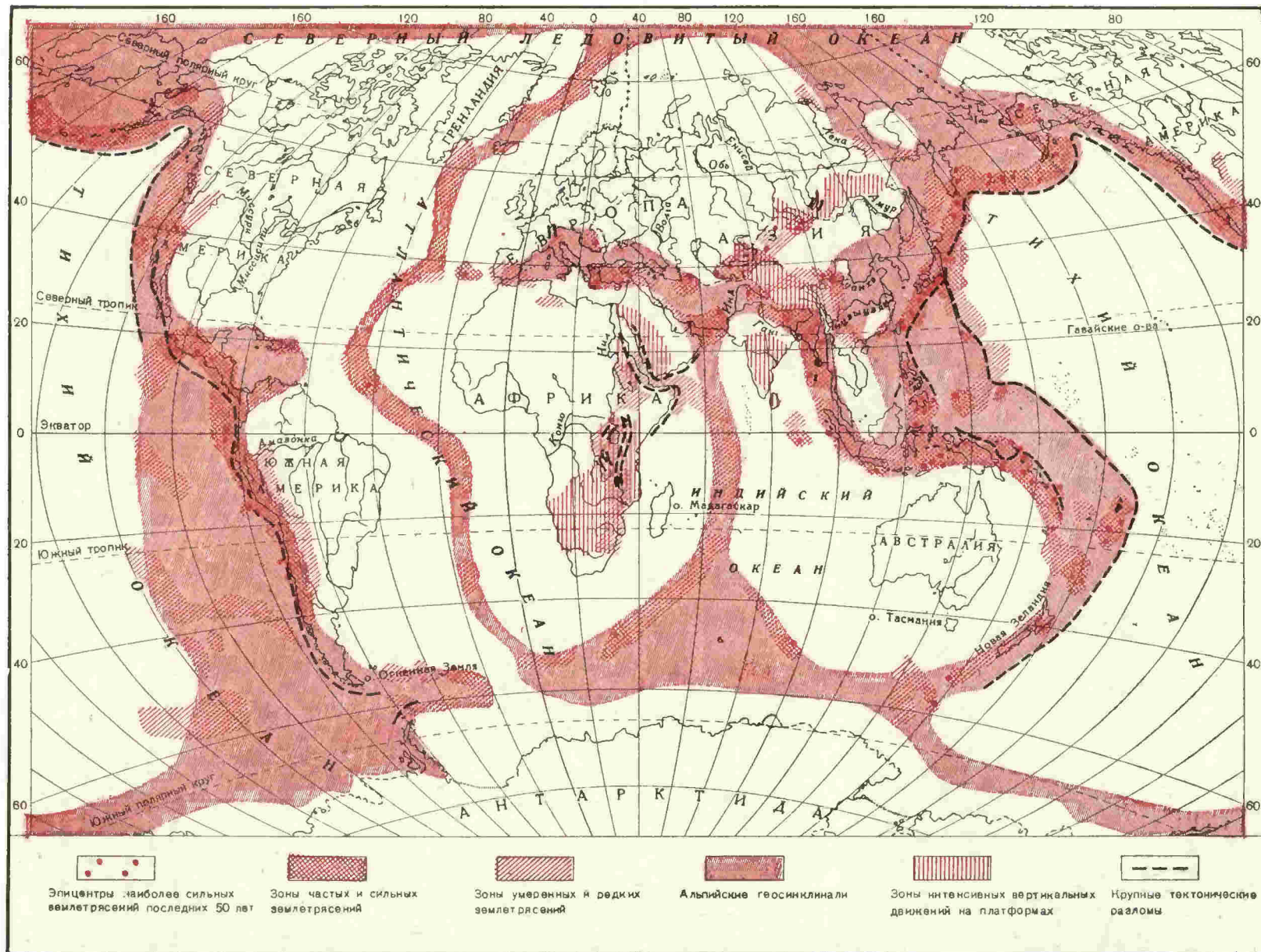


Рис. 3. Карта сейсмичности Земли

слабо, сохранялась высокая подвижность; это — геосинклинальные области, или геосинклинали.

В результате тектонических движений недавнего времени, продолжающихся и поныне, в геосинклинальных областях, сохранивших на длительное время подвижность, происходило складкообразование, что, как мы уже указывали, всегда сопровождается возникновением разломов. Естественно, что такие районы обладают резко повышенной сейсмичностью.

С другой стороны, в тех платформенных районах, в которых в недавнее геологическое время возобновлялись интенсивные тектонические движения, складкообразование происходило незначительное, но усиленно развивались разломы. И в этом случае наблюдается резкое возрастание сейсмической активности.

Зоны, которые геологи называют альпийскими складчатыми областями, сформировались в недавние геологические эпохи в пределах геосинклиналей. Почти все эти области заняты молодыми горными сооружениями. Это — горы бассейна Средиземного моря, Карпаты, Крым, Кавказ, Мало-Азиатские горы, Гималаи, горные хребты Индонезии, Японии, Анды и Кордильеры в Америке. Именно в этих районах наиболее часто происходят землетрясения (рис. 3).

Другую большую группу сейсмически активных зон представляют районы платформ, в самые недавние геологические эпохи захваченные интенсивными тектоническими движениями. Здесь возникло значительное количество новых разломов и произошли подвижки по древним разломам. В качестве примеров таких районов можно указать горы Тянь-Шаня, Алтая, Прибайкалья, Монголии, многих областей Китая и т. д. Землетрясения здесь происходят, по-видимому, несколько реже, чем в районах предыдущей группы, но именно здесь чаще наблюдаются удары исключительной силы.

В некоторых случаях в пределах сейсмически активных районов интенсивные тектонические движения не сопровождаются крупными поднятиями, приводящими к образованию горных хребтов. Таков ряд областей Африки и Центральной Азии.

Наконец, на территориях, где не происходит интенсивных тектонических движений, а поэтому не возникает землетрясений, иногда ощущаются слабые сотрясения от отдаленных землетрясений. О некоторых при-

мерах было уже сказано ¹(землетрясения 1889 и 1911 гг. в Тянь-Шане и в 1895 г. в Красноводске). Прибавим к ним еще один характерный пример: от катастрофического землетрясения 1940 г. в Карпатах сильно пострадал Бухарест. При этом ударе слабые сотрясения ощущались и в Москве; были получены сообщения от нескольких сотен москвичей, заметивших это землетрясение, хотя условия для его наблюдения не были благоприятными, так как произошло оно ночью.

ГЛУБОКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Почти все, о чем до сих пор говорилось, относится к подавляющему большинству землетрясений, очаги которых расположены в земной коре, т. е. до глубин 60—70 км. Их называют нормальными. Однако на земном шаре известны и более глубокие землетрясения. Очаг только что упомянувшегося Карпатского землетрясения (как и ряда других в этом районе) находился на глубине между 100 и 150 км; в горах Гиндукуша в Афганистане, частично в Пакистане очаги залегают на глубине до 200—250 км. Это промежуточные землетрясения. Наконец, вдоль восточного и западного побережий Тихого океана располагаются зоны самых глубоких на земном шаре землетрясений — их очаги опускаются до глубин 600—700 км, их называют глубокофокусными.

Трудно быть уверенным, что землетрясения, очаги которых расположены в земной коре или на больших глубинах, вызываются одними и теми же причинами. Несомненно, на больших глубинах многие условия существенно иные, чем в более поверхностных участках (давление, температура, состояние вещества); поэтому иной может быть и физическая сторона процесса, вызывающего землетрясение. Поскольку, однако, глубокие землетрясения составляют меньшинство на земном шаре и лишь изредка бывают разрушительными, мы в дальнейшем не будем на них останавливаться.

ЦУНАМИ

Особого внимания заслуживают тектонические землетрясения, возникающие под дном моря и вызывающие огромные морские волны — ц у н а м и . Они образуются в результате сильного землетрясения, происшедшего в пределах моря и, вероятно, вызы-

вающего мгновенное значительное изменение рельефа его дна. В этих случаях в воде возникают волны, распространяющиеся со скоростью до 700—800 км в час; длина волны достигает 100—300 км. В открытом океане такие волны незаметны и не причиняют ущерба кораблям, но при подходе к берегам, с уменьшением глубины моря, скорость волн уменьшается, профиль их искажается — увеличивается крутизна передней части и высота (на побережьях она достигает 30 м). Обрушиваясь на берега, цунами производят страшные разрушения, особенно в суживающихся бухтах и проливах. В отличие от обычных волн морского прилива, цунами длительно (в течение нескольких минут) оставляют под водой залитые ими участки.

В последнее время успешно развивается служба оповещения цунами, что позволяет вовремя предупреждать населенные пункты, которым угрожает это бедствие. Основана она на том, что цунами распространяются гораздо медленнее сейсмических волн; поэтому, если быстро определить положение эпицентра сильного землетрясения, происшедшего под дном моря и могущего вызвать



Рис. 4. Гигантские валы цунами обрушились на восточное побережье Японии. Улица в порту Хакодате (о-в Хоккайдо), превратившаяся в водопад. Фотохроника ТАСС

цунами, и сообщить об этом в населенные пункты, подверженные действию цунами, люди успевают уйти в более возвышенные участки суши.

При Чилийском землетрясении, как уже указывалось, морские волны проделали путь свыше 15 тыс. км (рис. 4). Распространение цунами на такое расстояние настолько редко наблюдалось в прошлом, что в некоторых странах служба оповещения цунами не давала после Чилийского землетрясения

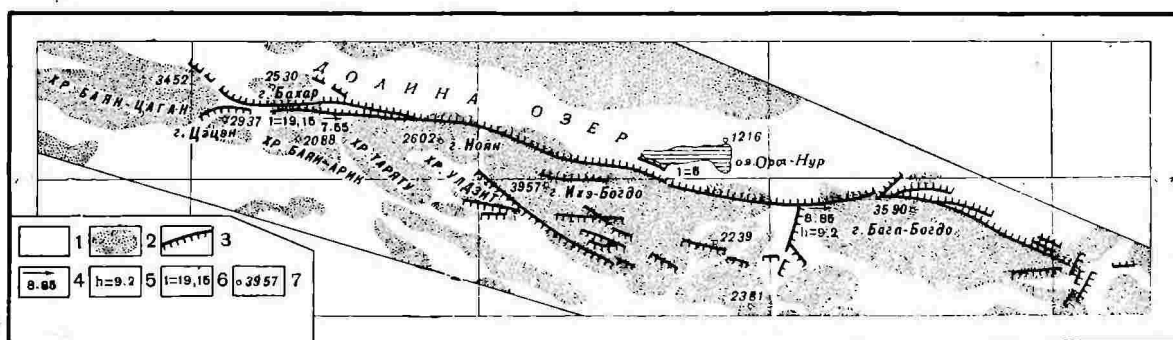


Рис. 5. Зоны трещин, образовавшихся при Гоби-Алтайском землетрясении 1957 г. (по В. П. Солоненко). 1 — предгорные и межгорные впадины и тектонические долины; 2 — горные массивы; 3 — простираения основных трещин, образовавшихся при землетрясении; 4 — направление и амплитуда сдвигов в метрах; 5 — амплитуда вертикальных смещений в метрах; 6 — ширина трещин в метрах; 7 — абсолютные отметки в метрах

предупреждения о возможности бедствия; приход волн к этим побережьям был совершенно неожиданным для населения. На Курильских островах такое предупреждение было сделано своевременно, люди успели уйти, поэтому, несмотря на подъем воды (местами до 7 м), человеческих жертв не было.

СЛЕДЫ ПОДЗЕМНЫХ УДАРОВ НА ПОВЕРХНОСТИ

Обращаясь снова к землетрясениям, происходящим на суше, следует сказать, что на поверхности Земли сильные подземные удары вызывают очень разнообразные разрушения. В некоторых случаях возникают зоны разломов, которые иногда прослеживаются на протяжении десятков и сотен километров. Во время сильнейшего землетрясения в Гобийском Алтае, в Монголии, в декабре 1957 г. вдоль хребта образовался разлом — зона трещин, протягивающаяся на 300 км (рис. 5).

По таким разломам происходят перемещения и в горизонтальном и в вертикальном направлениях. Максимальная амплитуда еди-

новременного смещения при землетрясениях по горизонтали и по вертикали примерно равна 20 м. Гораздо чаще, однако, смещения по трещинам бывают совершенно незначительными (рис. 6).

Известны случаи, когда землетрясения приводили к крупным горным обвалам, перегородившим реки. Сарезское озеро на Памире (долина р. Мургаб) возникло после сильного землетрясения 1911 г. Иногда в результате сильного землетрясения с крутых склонов гор происходит соскальзывание рыхлых, пропитанных водой земляных масс, которые образуют очень быстродвигающиеся грязе-каменные потоки, сметающие все на своем пути. Толщина таких потоков достигает нескольких десятков метров (рис. 7). Во время Хаитского землетрясения в Таджикистане в 1949 г. такими потоками был разрушен ряд поселков.

Вблизи эпицентра сильного землетрясения колебания почвы бывают настолько значительными, что сбивают с ног людей и животных, сбрасывают с дороги идущие автомашины. Весьма частое явление при земле-



Рис. 6. Трещины в почве, возникшие при Ашхабадском землетрясении 1948 г.

Фото С. Медведева

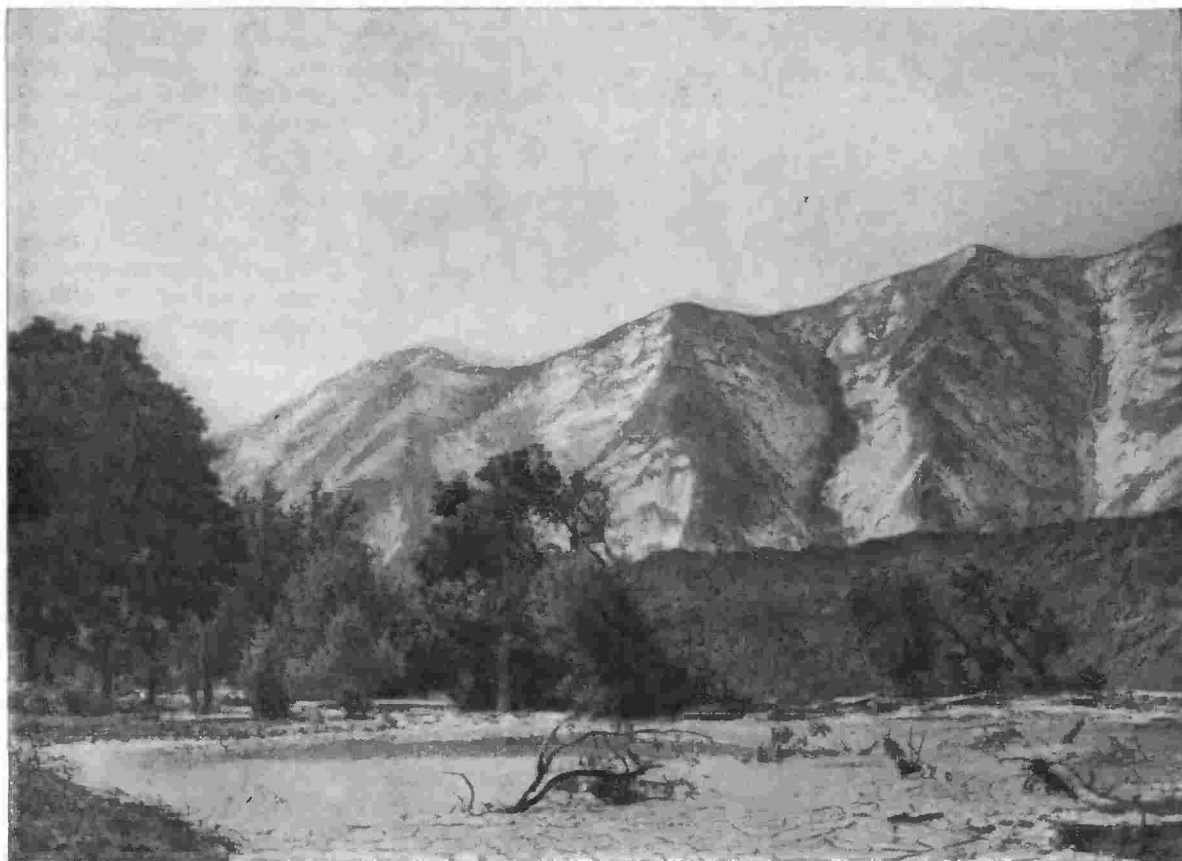


Рис. 7. Застывший грязе-каменный поток при Хаитском землетрясении 1949 г. (черный уступ позади деревьев). Белые пятна на горах — участки, откуда в результате землетрясения соскользнули земляные массы

Фото С. Медведева

трясениях — изменение режима источников, иногда довольно устойчивое.

По первоначальным газетным сообщениям, Чилийское землетрясение в мае 1960 г. сопровождалось огромными нарушениями земной поверхности и значительным усилением вулканической деятельности. Однако из докладов чилийского сейсмолога Ц. Ломница, бывшего во время землетрясения в Чили, и французского вулканолога Р. Тазиева, посетившего район землетрясения в июне¹, следует, что газетные сообщения были крайне преувеличены. Усиления вулканической деятельности не произошло или

же оно было весьма незначительным. Довольно слабыми были и нарушения земной поверхности. Наиболее значительными из них надо, по-видимому, считать опускания на побережье Чили на глубину до 1,2—1,8 м, имевшие место на большом протяжении берега.

СИЛА И ЭНЕРГИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Различное действие землетрясений на земную поверхность зависит от ряда причин, среди которых главную роль играет сила землетрясения. Оценка этой силы дается в различных величинах. Одно время была наиболее распространена условная шкала в баллах от 1 до 12. Для каждого балла установлены свои признаки — раскачивание всяких предметов, появление первых волосяных трещин, падение дымовых труб,

¹ Эти доклады были сделаны на 12-й Ассамблее Международного союза геофизиков и геодезистов, происходившей в Хельсинки в конце июля — начале августа 1960 г. (Автор настоящей статьи принимал участие в Ассамблее в составе делегации советских ученых).

серьезные повреждения капитальных построек и т. д. (рис. 8).

Однако оценки по этой шкале в известной степени субъективны. Например, для Ашхабадского землетрясения 1948 г. эта оценка расходилась на 2 балла — некоторые наблюдатели оценили его силу в 11 баллов, тогда как оно было 9-балльным. Еще труднее по этой шкале сравнивать землетрясения, происшедшие в различных геологических условиях, в разных областях и государствах. Поэтому в настоящее время предложен ряд других шкал, в которых сила землетрясения определяется путем математических вычислений на основании записей сейсмографов, регистрирующих землетрясения. В этих случаях можно увереннее сопоставлять между собой по силе землетрясения, происходящие в разных районах земного шара.

Следует указать, что энергия землетрясений исключительно велика. При очень сильном землетрясении выделяется энергии в несколько миллионов раз больше, чем при взрыве атомной бомбы типа тех, которые были сброшены в 1945 г. на Хиросиму и Нагасаки. При 11—12-балльном землетрясении энергии выделяется 10^{25} эрг, что примерно соответствует энергии такой станции, как Днепрогэс при ее непрерывной работе в течение 300—350 лет.

БОРЬБА С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Приведенные данные достаточно ясно показывают, каким страшным стихийным бедствием являются сильные землетрясения. Возникает вопрос — если нельзя бороться с самим землетрясением, то что можно сделать для того, чтобы свести к минимуму его разрушительные последствия и обезопасить жизнь людей, проживающих в сейсмических зонах?

Ответ на этот вопрос в первый момент кажется простым — в сейсмических областях надо возводить такие постройки, которые не разрушались бы и при сильных ударах. Подобный ответ принципиально совершенно правилен, но трудность заключается в том, что для этого надо знать, где может произойти землетрясение и какова будет его сила, ибо невозможно, конечно, во всех районах, небезопасных в сейсмическом отношении, вести строительство из расчета максимального балла землетрясения. Это было бы неоправданной тратой огромных средств.

Для того чтобы определить районы, в которых возможно возникновение землетрясений данной максимальной силы, в Советском Союзе в последние 15—20 лет были проведены большие исследования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ВОЗМОЖНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

При решении проблемы определения места возможного в будущем землетрясения необходимо проведение комплексных исследований — сейсмологических, геологических и инженерно-сейсмологических. Сейсмологи стремятся с максимальной точностью определить очаги и эпицентры землетрясений. Еще недавно эпицентры определяли с точностью всего до ± 50 —100 км. В настоящее время эта точность значительно повысилась и в некоторых случаях удается определять эпицентры и очаги с точностью до ± 3 —5 км.

На основании изучения записей землетрясений — сейсмограмм — удается определять также интенсивность землетрясения, а в некоторых случаях и те нарушения, которые произошли в очаге — направление смещения по разлому, его крутизну и т. д.

Благодаря особым устройствам сейсмографы чрезвычайно чувствительны к колебаниям почвы. При некоторых исследованиях удается записывать землетрясения, которые в десятки раз слабее удара, оцениваемого в 1 балл. Для сравнения укажем, что человек начинает ощущать колебания почвы, соответствующие землетрясению силой в 3—4 балла.

В итоге этих работ получается надежный материал по сейсмо-статистике. Однако одного этого материала недостаточно при определении места возможного в будущем землетрясения. Важную роль играют здесь геологические данные. Мы знаем, что землетрясения происходят в результате тектонических движений. Следствием этих последних являются и те складки горных пород и разломы, те блоки и массивы, которые наблюдаются на земной поверхности и носят собирательное название геологических структур. Генетическая связь между землетрясениями и геологическими структурами позволяет следующим образом подходить к выяснению особенностей геологической обстановки сейсмических районов, важных для понимания повышения сейсмичности.

Пользуясь обычными геологическими методами, изучают геологические структуры,

устанавливают их строение, историю геологического развития, соотношения между собой в настоящее время и в геологическом прошлом и особенно характер тектонических движений, прежде всего — движений новейшего времени. Затем сопоставляют эти данные с данными сейсмостатистики — расположением эпицентров, силой землетрясений, глубинами очагов и т. д. Такое сопоставление дает возможность наметить некоторые закономерности связи между сейсмичностью и геологической обстановкой. Если одни и те же соотношения между сейсмичностью и геологической обстановкой сохраняются на значительной площади, то путем экстраполяции допустим вывод: если в каком-то районе землетрясения нам неизвестны, но геологическая обстановка похожа на ту, в которой в соседнем районе они происходили, то первый также следует считать сейсмически опасным. Аналогичным образом удастся выделять и более спокойные зоны. Это позволяет в первом приближении давать оценку сейсмической активности изучаемой территории.

При помощи инженерно-сейсмологических исследований выясняется значение грунтовых условий, особенностей гидрогеологического режима, условий рельефа и т. д., которые могут влиять на увеличение или ослабление силы сотрясения при землетрясениях.

КАРТЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Комплексные, геолого-географические исследования в сейсмических областях СССР позволили наметить различные зоны, в каждой из которых предполагается возможным проявление сейсмических колебаний не свыше определенной силы. Такие зоны выделены для значений 6, 7, 8 и 9 баллов 12-балльной шкалы. Землетрясения сильнее 9-балльных в пределах СССР происходят чрезвычайно редко, поэтому нецелесообразно было выделять зоны баллов выше 9, но



Рис. 8. Дом, разрушенный при землетрясении 1958 г. на одном из Курильских островов

Фото С. Федоткина

для некоторых районов указано, что на их площади могут быть землетрясения и сильнее 9-балльных.

Карта сейсмического районирования территории СССР составляется Институтом физики Земли АН СССР, утверждается правительственными органами и становится обязательным документом для всех строительных организаций. При проведении строительства в сейсмических районах они обязаны соблюдать антисейсмические мероприятия по укреплению возводимых сооружений в соответствии с нормами, существующими для каждого из баллов, указанных на карте.

Советский Союз — первая страна, в которой карта сейсмического районирования была сделана официальным нормативным документом при строительстве. В последние годы большие работы по подготовке к составлению аналогичных карт начали проводиться в ряде стран народной демократии — Китае, Болгарии, Румынии использующих опыт наших сейсмологов и геологов.

Первый вариант карты сейсмического районирования территории СССР был составлен около 20 лет тому назад. С тех пор карта неоднократно уточнялась и улучшалась. Естественно, что сразу дать ее безупречный вариант было совершенно невозможно, поскольку мы имеем дело с очень сложным природным явлением, причины которого еще во многом неясны и при совре-

менных методах исследования непосредственно не поддаются изучению. Тем не менее, эта карта, пусть еще не вполне совершенная, позволяет в целом правильно оценивать сейсмическую активность разных районов. При соблюдении норм антисейсмического строительства жизнь людей не подвергается опасности, а также рационально расходуются те крупные средства, которые затрачиваются здесь на строительство.

ПРОГНОЗ ВРЕМЕНИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В заключение следует сказать несколько

слов о еще нерешенной, труднейшей и очень важной проблеме возможности определения времени возникновения землетрясения. В этом направлении советские и зарубежные ученые предпринимали неоднократные попытки, стремясь подойти к решению проблемы с разных сторон. Пока они не дали надежных результатов, но исследования продолжаются.

Совершенно очевидно, насколько важно знать о надвигающейся катастрофе всего даже за 5—10 мин. Надо надеяться, что усилия ученых по изучению проблемы прогноза времени возникновения землетрясений не будут ослаблены и приведут к ее успешному решению.

РАДУГА И ЗАРЯ

Находясь в западной части Ленинграда, я был свидетелем необычного и весьма интересного явления природы — сочетания радуг с зарей.

30 июля 1959 г. в 21 час. 30 мин. (по московскому времени) в просвете у самого горизонта из кромки облаков показался диск заходящего Солнца и на небе появились две радуги. Радуга, расположенная ближе к Солнцу, была по окраске менее интенсивна, чем следующая за ней, и своими концами не доходила до горизонта, тогда как края второй радуги касались горизонта. Одновременно с появлением радуг окраска восточной части небосвода, начиная от второй радуги и до горизонта, из светло-серой перешла в окраску, близкую к так называемому цвету сомон (цвет лососины) или цвету, какой можно получить, если смешать в каких-то пропорциях оранжевую краску с розовой. Окраска западной части небосвода оставалась прежней, светло-серой. В этой части неба, как и прежде, были видны плывущие с запада на восток небольшие темно-серые разорванные облака. Во всей наблюдавшейся картине поражало больше всего то, что как только небольшие темно-серые разорванные облака

проходили вторую радугу и попадали на восточную часть небосвода, они тотчас же принимали цвет сомон и совершенно терялись на фоне неба.

В 21 час. 45 мин., с заходом Солнца, радуги исчезли, окраска восточной части неба приняла такой же, естественный для облаков среднего яруса светло-серый цвет, какой наблюдался и на остальных частях неба, и снова, как на западной части неба, так и на восточной, под основным облачным покровом плыли темно-серые разорванные небольшие облака.

Как можно объяснить наблюдавшееся явление? В данном случае, по-видимому, было удачное сочетание таких условий, которые, дополняя друг друга, способствовали усилению различия освещенности, а следовательно, и окраски облачного покрова на западе и востоке. К таким условиям относятся: неоднородная прозрачность приземного слоя воздуха как по концентрации, так и по составу взвешенных частиц, что свойственно для большого промышленного города; территориальные различия интенсивности выпадающих небольших осадков; неодинаковая плотность облачного покрова (увеличивающейся к востоку) и его

местоположение по отношению к Солнцу; просвет, через который освещалась нижняя часть основного облачного покрова и разорванных нижних облаков и т. п.

Пока разорванные небольшие низкие облака находились в западной части небосвода (над окраиной города, примыкающей к заливу, в зоне слабых осадков), степень освещенности их нижней части была меньше, чем вышележащего облачного покрова, а следовательно, существовал световой контраст между темной окраской разорванного облака и светлой окраской облачного покрова. Перемещаясь к востоку, разорванные облака, наконец, попадали в такую зону, где степень освещенности их нижней поверхности становилась равноценной фону, на котором они проецировались. Это и приводило к слиянию разорванных облаков с фоном.

Объяснить разграничение в окраске неба по второй радуге без переходных тонов, видимо, можно так: поскольку восточная часть небосвода имела окраску сомон и наружная кромка второй радуги была красной, ее отблеском и был завуалирован участок с переходными тонами.

*И. Е. Воробьев
Ленинград*