

Б. А. Петрушевский

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРЕДСКАЗАНИЯ



1961

СЕРИЯ XII


ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЗНАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОГРАФИЯ

2

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

Доктор геолого-минералогических наук
Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ
И
ВОЗМОЖНОСТИ
ИХ ПРЕДСКАЗАНИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва

1961

В брошюре рассказывается о различных типах землетрясений и о причинах, их вызывающих. Особое внимание автор уделяет тектоническим землетрясениям, причиной которых являются движения, происходящие в земной коре. Изучение землетрясений позволяет человеку «заглядывать» в глубь Земли, постепенно узнавать строение глубин и процессов, идущих там.

Автор приводит примеры сильнейших землетрясений за несколько десятилетий, в том числе и землетрясений, вызывавших волны цунами, знакомит читателей с тем, как составляются карты сейсмического районирования, позволяющие оценивать каждый район с точки зрения возможности возникновения в них землетрясений и необходимости принятия антисейсмических мер при строительстве.

Последняя карта сейсмичности приложена к брошюре. Кроме того, в брошюре много других иллюстраций.

Написана брошюра просто и будет понятна широкому кругу читателей.

ВВЕДЕНИЕ

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ... Неожиданно, среди полного спокойствия природы под землей вдруг возникает гул. Он нарастает, превосходя самые сильные раскаты грома. Резкие толчки сотрясают почву. Всегда неподвижная и устойчивая земля внезапно оживает. Рушатся здания, как бы крепко они ни были построены, обваливаются горы, появляются глубокие трещины на земле.

Землетрясения поражают воображение людей гораздо больше, чем другие стихийные бедствия — наводнения, ураганы, даже извержения вулканов. Причины этого вполне ясны. Все остальные стихийные бедствия имеют тех или иных предвестников: при ураганах постепенно падает давление, усиливается ветер; при наводнениях вода прибывает также постепенно; при вулканических извержениях перед главным взрывом обычно бывают более слабые или же происходят небольшие подземные толчки. Возникают все эти бедствия обычно лишь в некоторых, достаточно определенных местах и проявляются на сравнительно небольших по площади участках.

Иная картина наблюдается при землетрясениях. Во-первых, они, за редчайшими исключениями, происходят совершенно неожиданно. Во-вторых, захватывают огромные территории и ощущаются на расстоянии многих сотен и тысяч километров от центра землетрясения. В-третьих, при землетрясении у человека теряется вера в устойчивость того, что всегда считается самым неподвижным и устойчивым — «земной тверди».

Поэтому, конечно, далеко не случайно, что в исторических хрониках и летописях всех времен и народов имеются сообщения о землетрясениях.

Обратившись к истории землетрясений, мы как будто увидим подтверждение правильности представления о них, как

о катастрофах. Землетрясение 1911 года в районе Верного (ныне Алма-Ата) привело к сильному разрушению этого города и ощущалось на всей территории Средней Азии. Еще большую площадь захватило землетрясение 1889 года, центр которого находился восточнее Верного, вблизи поселка Чилик. Оно проявилось в восточной половине Средней Азии, в северо-западном Китае, на большей части Казахстана и даже в южной части Западно-Сибирской низменности (рис. 1).

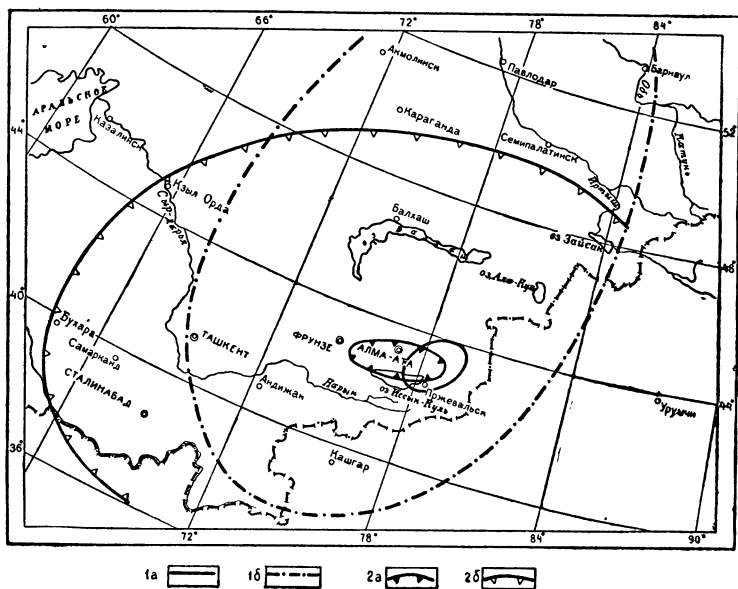


Рис. 1. Карта распространения сотрясений при Чиликском землетрясении 1889 г. и Верненском землетрясении 1911 г. (по Г. П. Горшкову).

1а—границы зоны значительных разрушений при Чиликском землетрясении; 1б—границы зоны ощутимых колебаний почвы при этом землетрясении; 2а — границы зоны значительных разрушений при Верненском землетрясении; 2б—границы зоны ощутимых колебаний почвы при этом землетрясении.

Вспомним Токийское землетрясение в Японии в 1923 году, унесшее около 140 тыс. человеческих жизней, или Ганьсуйское землетрясение в Китае в 1920 году, во время которого количество жертв исчислялось (по разным подсчетам) от 150 до 250 тыс. человек.

У всех, конечно, свежи в памяти впечатления от двух катастрофических землетрясений 1960 года. В феврале был полностью разрушен город Агадир в Марокко, причем в течение нескольких минут погибли 15 тыс. человек.

Едва сошли со страниц газет сообщения об Агадире, как произошло сильнейшее землетрясение (вернее, ряд землетря-

сений на протяжении нескольких дней) в Чили, в Южной Америке. Ученые, посетившие Чили сразу после землетрясения, считают, что сообщения, появившиеся в газетах, значительно преувеличивали разрушения. Однако, несомненно, что в результате этого землетрясения был разрушен и серьезно поврежден ряд городов и поселков; произошли и некоторые изменения рельефа. Лишь благодаря сравнительно малой населенности тех областей Чили, где оно произошло, число жертв было относительно невелико — около 10 тыс.

Очень серьезными оказались последствия Чилийского землетрясения на морских побережьях. Порожденные им огромные волны обрушились на берега не только Чили. Пробежав с быстротой самолета через Тихий океан, они нахлынули на берега суши, отстоящей более чем на 15 тыс. км: на Филиппины, Японию, Курильские острова, Камчатку.

При всей грандиозности Чилийской катастрофы и сходных с ней по своим разрушительным последствиям землетрясений необходимо подчеркнуть, что подобные катастрофы происходят редко.

В настоящее время специальные станции на особых приборах отмечают на земном шаре ежегодно свыше 100 тыс. подземных ударов. Можно не сомневаться, что истинное число их значительно больше, но многие слабые удары приборам не удастся уловить. Из этого количества всего около 100 землетрясений (что составляет менее 0,1%) относится к категории сильных. Катастрофические же землетрясения происходят примерно один раз в год.

Ученые изучают не только сильные землетрясения, но и слабые, подавляющее большинство которых проходит незамеченными людьми. Изучение этих слабых ударов дает ценный материал для понимания многих особенностей сильных землетрясений.

В настоящей брошюре мы познакомимся с причинами землетрясений, с методами их изучения, с теми способами, при помощи которых удастся предотвращать или ослаблять разрушительные последствия подземных ударов, и, наконец, с исследованиями, которые проводятся для выяснения возможности предсказания землетрясений.

ТИПЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Изучением сейсмичности¹ разных областей земного шара ученые занимаются уже много столетий.

¹ Сейсмос — греческое слово, означающее колебание, землетрясение. От него происходит много слов, употребляющихся, когда говорят о землетрясениях: сейсмология — наука о землетрясениях; сейсмограф — прибор, записывающий землетрясения; сейсмичность — общая характеристика землетрясений, происходящих в данной области.

Они различают три типа землетрясений по их происхождению: обвальные, вулканические и так называемые тектонические. О первых двух типах достаточно сказать лишь немного.

Обвальные землетрясения, как это следует из самого названия, происходят в результате обвалов крупных масс горных пород. В природе такие случаи возможны, когда в легко растворимых горных породах — в гипсах или известняках — образуются большие подземные полости — пещеры. В качестве примеров укажем широко известные пещеры на горе Чатырдаг в Крыму или Кунгурскую пещеру на Урале. Иногда такие пещеры достигают огромных размеров: Мамонтова пещера в штате Кентукки в США имеет протяжение со всеми разветвлениями и переходами до 430 км.

Когда в подобных пещерах с потолка падают крупные массы пород, подмытых водами или трещиноватых, в ближайших окрестностях ощущаются сотрясения почвы. Однако они никогда не бывают сильными и сказываются лишь на очень небольших площадях.

Вулканические землетрясения иногда вызываются непосредственно вулканическим взрывом, как это было в 1883 году при извержении Кракатау в Зондском проливе, когда в воздух взлетела часть этого вулкана. В других случаях слабые подземные толчки предваряют главное извержение с сопровождающими его более сильными колебаниями почвы. Так, слабые толчки начались за 16 лет до извержения Везувия в 79 году нашей эры. Существует мнение, что Помпея, Геркуланум и другие города, погребенные под пеплом во время извержения 79 года, были в большой степени разрушены именно этими предварительными ударами.

Вулканические землетрясения иногда достигают значительной силы, но разрушительными они бывают на сравнительно небольшой площади — только в районе, непосредственно примыкающем к вулкану. Некоторые другие последствия вулканических извержений иногда проявляются разрушениями на гораздо большей площади. Например, при распространении морских волн, возникших в результате вулканического взрыва при извержении Кракатау, погибли многие тысячи людей на побережьях островов Индонезии.

Наиболее распространены землетрясения тектонические. Они и наиболее многочисленны, и именно среди них бывают самые сильные.

Что же такое тектоника? Тектоникой называют ту отрасль геологии, которая занимается изучением движений земной коры и ее деформаций, происходящих в результате этих движений. Следовательно, тектоническими мы должны называть землетрясения, которые возникают благодаря движениям, происходящим в земной коре.

ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

На первый взгляд земная кора совершенно неподвижна. Тяжелыми массами лежат горы с их кающимися вечными ледниками и снегами; простираются плоские равнины, по которым с незапамятных времен текут одни и те же реки. Море плещет в берега, на которых селились люди еще каменного века, как о том можно судить по находкам их кремневых орудий или пещер, служивших жилищами.

Но впечатления эти глубоко ошибочны. В действительности земная кора при видимой неподвижности испытывает весьма различные движения. Они могут быть более быстрыми и более медленными, местными и захватывающими огромные территории, длительными и эпизодическими, вертикальными и горизонтальными и т. д. Данные геологии позволяют утверждать, что и в минувшие геологические периоды, общая продолжительность которых измеряется более чем тремя миллиардами лет, также происходили подобные движения.

Надо подчеркнуть, что незаметными нам эти движения кажутся прежде всего потому, что человек имеет возможность непосредственно изучать их на крайне малом отрезке времени. Для человека поднятие местности на 5 мм в год совершенно ничтожно. Наблюдая такую местность в течение 50 лет, человек может не заметить, что за это время она поднялась на 25 см. Но если учесть огромную продолжительность геологической истории¹, продолжительность, заставляющую считать, например, отрезок времени в 100 тыс. лет очень коротким, то поднятие на 5 мм в год придется признать весьма быстрым. Оно будет обозначать, что за 100 тыс. лет местность поднялась на 500 м, т. е. на величину, уже вполне ощутимую.

Наиболее распространены на земном шаре, по-видимому, вертикальные движения, обуславливающие поднятия одних районов и опускания других. Эти движения могут захватывать весьма обширные площади. В качестве примера подобного общего крупного поднятия на огромную высоту, происшедшего в сравнительно недавнее геологическое время, укажем Памир и Тибетское нагорье, с их средними абсолютными высотными отметками около 4—5 км. Котловины Черного и Каспийского морей служат примерами общих крупных глубоких опусканий недавнего времени.

¹ Общая продолжительность существования Земли определяется в 5—6 млрд. лет. Вторая половина этого времени, продолжительностью около 3300—3500 млн. лет, должна рассматриваться как геологическая стадия развития Земли. От этого времени до нас дошли горные породы, позволяющие с большей или меньшей точностью судить о существовавших тогда на Земле геологических условиях. Наиболее обоснованные данные мы имеем для последнего миллиарда лет. Первую половину времени существования Земли следует рассматривать как догеологическую стадию ее развития, т. е. такую, о которой наука геология сведений не имеет.

Наряду с движениями, приводящими к поднятиям и опусканиям таких обширных участков земной коры, происходят и более дифференцированные, более дробные движения. Они вызывают поднятия и прогибания на меньших площадях; однако по своей абсолютной величине эти движения могут быть очень значительными, формирующими крупные возвышенности и впадины. Так, горная область Тянь-Шаня в целом испытывает в последнее геологическое время общее значительное

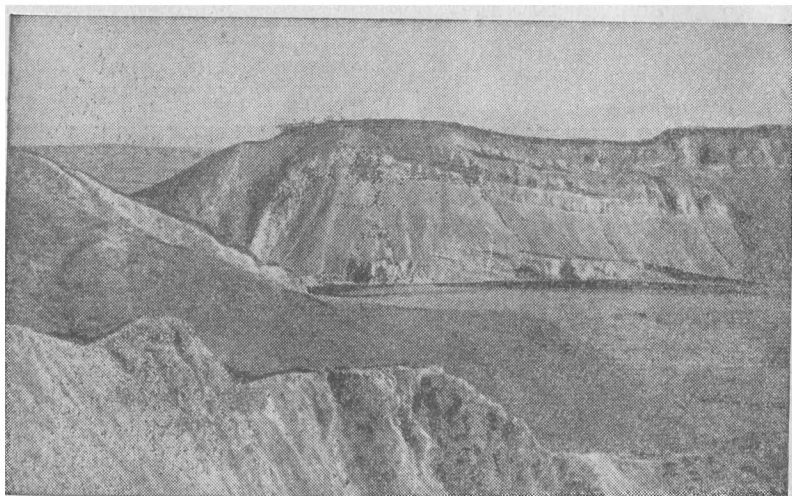


Рис. 2. Асимметричная складка горных пород в третичных отложениях; западная Туркмения. Фото Б. А. Петрушевского.

поднятию. На этом фоне происходят как более резкие воздымания отдельных участков Тянь-Шаня (Заилийский Алатау, Кунгей-Алатау и Терской-Алатау и др.), так и глубокие прогибания других участков; наиболее обширный из них занят озером Иссык-Куль.

Менее ясен вопрос о горизонтальных движениях. Одни ученые отводят им главное место в деформациях земной коры, другие — резко подчиненное. Вероятно, последнее предположение не является правильным, и значение горизонтальных сил и движений в развитии земной коры следует считать серьезным фактором, хотя и уступающим первое место вертикальным силам и движениям.

В результате некоторых тектонических движений (природу их мы можем здесь специально не рассматривать) слои горных пород, слагающие поверхностную часть земной коры, образуют складки (рис. 2). Размеры этих складок бывают очень различными — от десятков и сотен метров до десятков и со-

ген километров в длину. Прихотливо изогнутые слои горных пород, образующие части складок, многие читатели могли видеть в выемках железной дороги между Туапсе и Сочи. Группы крупных складок благодаря последующим поднятиям образуют системы горных цепей и кражей, в качестве примера которых укажем горы Крыма, Кавказа, Карпаты.

Слои горных пород способны изгибаться лишь до известных пределов, после чего начинается растрескивание, разламывание складок. В толщах горных пород возникают трещины, называемые геологами разломами или расколами (рис. 3). Складки без разломов представляют собой редкие исключения. Величина разломов чрезвычайно различна и доходит до десятков и сотен километров в длину. На такие же расстояния некоторые разломы уходят в глубины земли.

Неправильно представлять себе эти разломы в виде зияющих трещин. После своего возникновения они быстро (в геологическом понимании этого слова)

либо заполняются горными породами, попадающими в трещины сверху или с боков; либо же по трещинам, как по наиболее удобным каналам, начинают циркулировать подземные воды, содержащие в растворенном виде различные химические соединения. Когда при благоприятных условиях эти соединения осаждаются из растворов, они целиком заполняют трещины минеральными новообразованиями.

Разломы очень большого протяжения, измеряемого многими десятками или сотнями километров, нельзя считать строго непрерывными. В действительности здесь перед нами зоны разломов, которые состоят из отдельных меньших разломов, не образующих единой линии. Сказанное относится как к разломам на земной поверхности, так и к находящимся на глубине. Ширина крупных зон разломов иногда достигает нескольких километров, а отдельных часто даже крупных разломов редко превышает несколько сот метров.

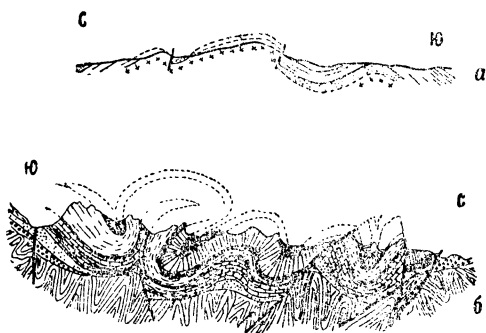


Рис. 3. Схематические профили с примерами простых (а) и сложных (б) складок горных пород, разбитых разломами. Разломы показаны жирными линиями; на рис. б видно, что некоторые из них не продолжаются до земной поверхности. Пунктирными линиями показано условное продолжение тех частей складок, которые нынче разрушены.

Установлено, что в глубинах земли бывают так называемые «слепые» разломы, не достигающие земной поверхности и ничем не проявляющиеся на ней.

По отношению к поверхности земли разломы бывают вертикальными, круто или полого наклоненными, а иногда и почти параллельными ей.

В ряде случаев тектонические движения приводят преимущественно к разломам, складкообразование же тогда имеет подчиненное значение. Наблюдается это обычно в районах, неоднократно ранее испытывавших складчатость (что подробнее будет описано дальше).

Разломы часто образуются в тех случаях, когда участки, граничащие друг с другом, испытывают вертикальные движения противоположного направления — одни поднимаются, другие опускаются. Иногда направление движения может быть и одинаковым — только поднятием или опусканием, но скорость — существенно разной. По границам подобных участков чаще всего и образуются разломы.

По разломам происходят перемещения одной части складки относительно другой или перемещения целых групп складок, крупных массивов, надвигание одних участков на другие в виде гигантских чешуй. Величины этих перемещений нередко измеряются несколькими километрами, в отдельных случаях достигая 10—15 км, а по некоторым данным, и более.

Надо отметить, что разломы развиваются в течение длительного времени — в течение многих геологических эпох и периодов. Лишь по сравнительно немногим из них перемещения происходили только в течение короткого отрезка времени, близкого к моменту их образования. В большинстве же случаев движения по разломам многократно возобновлялись в продолжение геологической истории.

Прежде чем говорить о значении разломов для возникновения землетрясений, остановимся очень коротко на вопросе о причинах тектонических движений. К сожалению, при всей его важности, он еще не нашел вполне удовлетворительного объяснения. В общем виде можно говорить, что тектонические движения являются результатом глубинных физико-химических процессов в Земле, но природа последних во многом неясна. Возможно, что здесь играли роль несколько факторов. Например, выделение тепла в результате распада радиоактивных элементов, находящихся в недрах Земли; или разделение вещества в зависимости от плотности, когда более плотные стремятся занять более низкое положение внутри земного шара; или многократные смены сжатия и расширения вещества на глубине и т. д.

В результате этих сложных физико-химических процессов, происходивших под земной корой в течение многих сотен миллионов лет, продолжающихся и ныне и захватывающих боль-

шие глубины земного шара (до нескольких сотен километров), в коре развивались и развиваются огромные напряжения. Они-то и обуславливают тектонические движения, в том числе движения, которые вызывают разломы. Напряжения, длительно накапливающиеся в земной коре, в конце концов достигают предела прочности горных пород. Тогда напряжения мгновенно разрешаются и в толще горных пород образуется разлом. Если здесь уже имеются разломы, возникшие в предшествующее геологическое время, то напряжения могут разрешиться вторичными перемещениями или подвижками по ним.

РАЗЛОМЫ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Нам пришлось долго задержаться на рассмотрении разломов, поскольку для землетрясений значение их чрезвычайно велико. Процесс разламывания горных пород приводит к образованию упругих волн в земной коре. От породившего их разлома эти волны расходятся во все стороны; скорость их чрезвычайно велика, от 4 до 14 км в секунду. Когда они достигают земной поверхности, производимые ими сотрясения почвы ощущаются как землетрясение.

Следовательно, разлом, вызвавший возникновение упругих волн, должен рассматриваться как очаг тектонического землетрясения. Ученые называют эти очаги гипоцентрами — от греческого слова «гипо» — глубокий.

Так как разломы, вызывающие землетрясения, имеют линейную протяженность, очевидно, что имеют ее и очаги землетрясений. Чем больше разлом, тем большим является очаг и тем обычно сильнее землетрясение. Справедлива и обратная зависимость — чем сильнее землетрясение, тем более крупный разлом надо предполагать на глубине.

То обстоятельство, что разломы, порождающие землетрясения, находятся на самых разных глубинах в пределах земной коры, чрезвычайно затрудняет изучение землетрясений. Толщина коры, как известно, достигает 60—70 км, но обычно измеряется 30—40 км. Естественно, что изучение разломов, располагающихся на глубинах в десятки километров, совершенно невозможно ни одним из методов непосредственного исследования, которыми пользуются геологи, работая на земной поверхности или изучая небольшие глубины, до 5—6 км.

В первый момент может показаться, что тесная связь очагов землетрясений с разломами позволяет преодолеть эту трудность, так как на поверхности земли разломы сравнительно просто обнаружить и проследить. Одно время некоторые геологи так и полагали, считая, что разломы со следами недавних передвижек по ним можно уверенно принимать как тектонические линии, к которым на той или иной глубине должны быть приурочены и очаги землетрясений.

Однако позднее выяснилось, что дело гораздо сложнее. При проведении геологических работ и при воспроизведении разломов в лабораторных условиях, на моделях, было установлено, что очень многие, даже крупные разломы, не продолжаются на сколько-нибудь большие глубины в недра Земли. С другой стороны, удалось доказать, как это уже упоминалось, что в глубинах имеются разломы, не достигающие земной поверхности и никак не сказывающиеся на ней. Все это показало невозможность в большинстве случаев считать поверхностные разломы непосредственно продолжающимися к тем, находящимся на различной глубине разломам, которые вызывают землетрясения. Связи между поверхностными разломами и разломами, порождающими землетрясения, намечаются достаточно определенно лишь в отдельных случаях и в некоторых районах.

Мы остановимся дальше на вопросе, каким образом в этих условиях все же удастся изучать землетрясения, устанавливать их связи с теми или иными особенностями геологического строения местности и даже — пусть пока приближенно — намечать места возникновения возможных в будущем подземных ударов. В настоящий момент для нас важно подчеркнуть лишь наличие причинной связи между землетрясениями и разломами, возникающими в результате тектонических движений на разных глубинах в земной коре. Эта связь, как мы увидим потом, имеет исключительное значение для выяснения соотношения между сейсмичностью и геологической обстановкой.

Остановимся мы дальше и на вопросе о зависимости расположения разломов, порождающих землетрясения, от особенностей геологического строения местности. Сейчас следует отметить только некоторые главнейшие закономерности в расположении подобных разломов. Выше указывалось, что разломы часто образуются на границах соседних участков, движущихся в различном направлении или с различной скоростью. Во многих случаях эти зоны характеризуются и резко повышенной сейсмичностью — именно здесь часто возникают землетрясения, в том числе очень сильные.

Так, Крымские горы, испытывающие поднятия, граничат с опускающейся впадиной Черного моря по зоне крупного разлома, расположенной в пределах моря, более или менее параллельно Южному берегу Крыма. К этой зоне приурочено довольно большое количество землетрясений. В 1927 году там было сильное землетрясение, которое причинило значительные разрушения в Ялтинском и Алуштинском районах.

В Средней Азии, в южном Тянь-Шане, Гиссарский хребет, протягивающийся на несколько сот километров и с давних пор испытывающий поднятия, граничит по зоне очень крупного разлома с расположенной южнее пониженной местностью.

Последняя носит у геологов и географов название Таджикской депрессии и испытывает — также с давнего времени — опускания. История последних 60 лет показывает, что в этой зоне часто происходили землетрясения, в том числе чрезвычайно сильные, как, например, в районе Каратага (западнее Сталинабада) в 1907 году и в районе Хаита (восточнее Сталинабада) в 1949 году.

Аналогичные примеры можно привести для ряда других районов Тянь-Шаня, для Кавказа, Туркмении и многих других сейсмических областей.

Прежде чем переходить к географической и геологической характеристикам сейсмических зон, остановимся на вопросе о распространении сотрясений при землетрясениях.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СОТЯСЕНИЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

Если бы в глубине Земли среда была идеально однородной и на поверхности условия совершенно одинаковы, упругие волны от очага землетрясения распространялись бы правильными эллипсами. Однако известно, что и глубинная среда неоднородна и что условия на поверхности земли также различны.

Земная кора образована слоями разного состава. Самый верхний из них сложен осадочными горными породами, образовавшимися в геологическом прошлом на дне существовавших здесь ранее морей и озер. Эти породы, в свою очередь, отнюдь не являются однородными, резко различаясь, например, по плотности, причем пласты менее плотных пород — глин, песков — часто многократно чередуются с пластами более плотных известняков, песчаников. Помимо этого, в толще осадочных пород нередко присутствуют массивы плотных глубинных горных пород, гранитов и других, возникших из так называемой магмы — силикатного расплава, находящегося на больших глубинах.

Ниже слоя осадочных пород залегает слой, который ученые условно называют гранитным. В действительности он, очевидно, сложен не только гранитом, но и другими горными породами, близкими к граниту по своим физическим свойствам. Еще ниже залегает слой, который с такой же степенью условности называют базальтовым.

Весьма различны и условия на земной поверхности. Участки горного рельефа могут сменяться равнинными; различен состав горных пород, слагающих местность; на разной глубине залегают водоносные горизонты, то насыщая водами все слои до самой поверхности, то находясь на глубине в десятки метров, и т. д.

Все эти неоднородности чрезвычайно сильно влияют на характер сейсмических волн; их распространение происходит по

достаточно прихотливо очерченным фигурам, различным в различных условиях. Линии, ограничивающие на земной поверхности зоны, одинаковые по силе сотрясений, называются изосейстами (рис. 4).

Участок на поверхности, наиболее близко расположенный к очагу землетрясения, испытывает, естественно, наибольшие

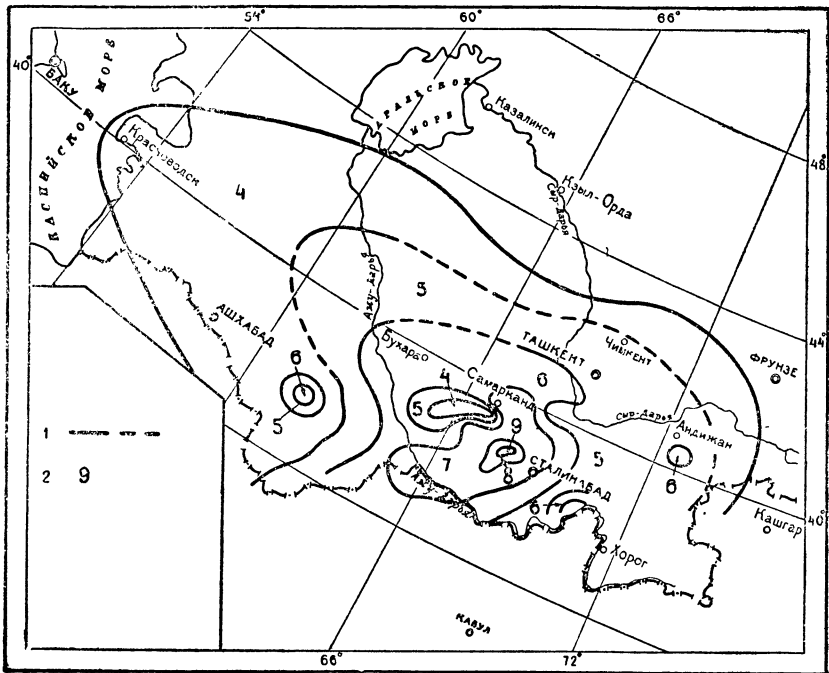


Рис. 4. Карта изосейст Каратагского землетрясения 1907 г.
(по Г. П. Горшкову).

1—изосейсты; 2—цифрами показана сила сотрясения в баллах.

сотрясения. Его оконтуривает одна-две срединные изосейсты. Эти участки называют эпицентрными областями землетрясения или, сокращенно, просто эпицентрами (от греческого слова «эпи» — над, над центром землетрясения по кратчайшему расстоянию). Нередко, особенно когда места возникновения землетрясений изображают на мелкомасштабных картах, эпицентры (как и очаги) показываются точками. Надо помнить, что подобное изображение является условным, поскольку очаги имеют определенную линейную протяженность, и, следовательно, протяженностью обладают и эпицентрные области землетрясений (рис. 5).

Ощутимые сотрясения почвы при катастрофических землетрясениях распространяются на тысячи километров. Мы уже

приводили некоторые примеры этого — с землетрясением в районе Верного (Алма-Ата) в 1911 году и с землетрясением 1889 года вблизи Чилика, в горах Заилийского Алатау. Приведем еще некоторые аналогичные примеры.

В 1895 году очень сильное землетрясение произошло на восточном побережье Каспийского моря, к югу от Красноводска

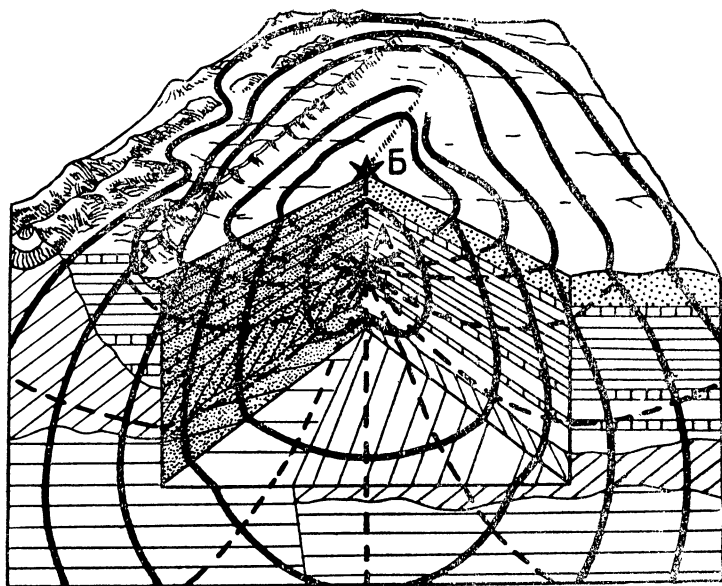


Рис. 5. Схема расположения гипоцентра (А), эпицентра (Б) и изосейст землетрясения (по А. Зибергу).

Оно проявилось значительными колебаниями почвы на другом берегу Каспия, например в Баку, и ощущалось далеко на севере — в Астрахани, Саратове и даже Сызрани. При Крымском землетрясении в сентябре 1927 года ощутимые колебания охватили всю южную Украину, хотя этот подземный удар и не относится к категории самых сильных. Упомянем о Карпатском землетрясении 1940 года, эпицентр которого находился на территории Румынии; при этом землетрясении сильно пострадал Бухарест. Оно было отмечено сотнями людей в Москве, несмотря на то, что условия для наблюдений были неблагоприятными, так как произошло оно глубокой ночью, когда люди спали.

Приборы для записей землетрясений — сейсмографы — отмечают колебания от сильных землетрясений, происшедших в любом пункте земного шара. Например, сейсмическая станция, расположенная в Москве, регистрирует все сильные зем-

летрясения, причем независимо от того, были они на суше или под дном моря.

Однако значительные разрушения наблюдаются на сравнительно небольших площадях, измеряемых сотнями квадратных километров, реже тысячами. В переводе на линейные меры это означает, что зоны таких разрушений имеют ширину от 2—3 до 30—40 км при длине от 10—15 до 80—100 км. Лишь в некоторых, очень редких случаях, при наисильнейших землетрясениях, эти зоны имеют большие размеры. Слабые разрушения — в виде волосяных трещин в стенах, выпадения отдельных кирпичей из дымовых труб и т. д. — проявляются на более обширных площадях.

Как правило, землетрясение не происходит в виде одного единственного удара. Обычно оно сопровождается серией более слабых толчков. Несмотря на свою меньшую силу, они нередко вызывают большие разрушения, так как происходят после того, как первый удар уже серьезно повредил постройки. После сильного землетрясения таких повторных толчков иногда бывает очень много — десятки, сотни, в некоторых случаях даже тысячи на протяжении всего нескольких дней или недель. Постепенно они уменьшаются в числе и становятся все более слабыми, но иногда после сильного землетрясения их удается наблюдать даже в течение нескольких лет.

Для предсказания времени возникновения возможного в будущем землетрясения было бы чрезвычайно важным, если бы сильное землетрясение предвлялось более слабыми толчками, подобно тому, как они наблюдаются вслед за основным ударом. Однако, к сожалению, такой закономерности не удается подметить, хотя и известны случаи, когда происходили подземные толчки, предшествующие главному удару. Дополнительную трудность представляет здесь и то, что ученые пока не могут определить, являются ли эти слабые толчки самостоятельными небольшими землетрясениями или же за ними вскоре последует сильный удар.

ГЕОГРАФИЯ И ГЕОЛОГИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗОН

Поскольку возникновение землетрясений связано с разломами, образующимися в толще земной коры в результате тектонических движений, естественно, что районы, где происходят землетрясения, приурочены к областям, в которых эти движения в недавнем геологическом прошлом и в настоящее время более интенсивны, чем в других областях.

Говоря об этом и рассматривая географию и геологическое строение зон возникновения землетрясений, следует предварительно сказать о некоторых особенностях строения земной коры, важных для распределения землетрясений. Мы уже говорили, что земная кора, покрывающая весь земной шар,

имеет сравнительно небольшую толщину — максимально до 60—70 км, но обычно меньше — всего 30—40 км. Под океанами она еще более тонка и часто не превышает 10—15 км. Отмечалось также, что кора неоднородна, что она состоит из трех слоев, из которых верхний сложен осадочными горными породами, средний — по своим физическим свойствам ближе всего к граниту, а нижний — к базальту.

Теперь нам надо познакомиться с неоднородностью строения земной коры, во всяком случае — ее верхней половины, в горизонтальном направлении. Эта неоднородность является чрезвычайно характерной для коры. Заключается она в том, что в коре чередуются участки более устойчивые, более жесткие, с участками более подвижными, менее жесткими. Разумеется, эти понятия нельзя воспринимать буквально, так как в обоих случаях речь идет об районах, сложенных твердыми горными породами. Можно говорить лишь об относительной — по сравнению друг с другом — степени жесткости.

Более устойчивыми и жесткими являются те районы, в которых в геологическом прошлом происходило общее интенсивное складкообразование, сопровождавшееся внедрением крупных расплавленных гранитных тел и подобных им магматических пород, поднимавшихся из глубин. В последующем в таких районах в течение многих сотен миллионов лет обычно уже не происходили интенсивные тектонические движения. Горный рельеф этих районов со временем выравнивался деятельностью текучих и снеговых вод, ветра, воздействием морозов, солнца. Они превращались в равнинные зоны, испытывавшие лишь очень медленные (в геологическом понимании этого слова) вертикальные движения, поднятия или опускания, захватывавшие их территории целиком или в значительной степени.

Нередко в эти районы проникали мелководные моря или здесь образовывались крупные озера, на дне которых постепенно накапливались толщи различных илов — песчаных, глинистых, известковых, впоследствии превращавшихся в горные породы — песчаники, глины, известняки. При осушении местности рельеф ее оказывался еще более равнинным, чем раньше, так как существовавшие впадины заполнялись осадками. Слои их и поныне занимают то горизонтальное (или почти горизонтальное) положение, которое они имели во время своего образования — ведь интенсивных дифференцированных тектонических движений, о которых мы говорили раньше, здесь не было.

Такие районы геологи зовут платформами. Типичным примером их может служить так называемая Русская платформа, с ее равниной, протягивающейся от гор Крыма и Кавказа на юге до морей бассейна Северного Ледовитого океана на севере, от Польши на западе до Урала на востоке. Огромная территория этой платформы занята практически горизонталь-

ными или лишь полого наклоненными пластами различных горных пород, образовавшихся после того, как эта область претерпела интенсивное складкообразование, а горный рельеф ее был уничтожен. В Карелии и Финляндии, а также на Украине из-под них на поверхность выходят гораздо более древние породы того времени развития, когда здесь еще не существовало платформы. Они слагают фундамент платформы, отличающийся большой сложностью строения, многочисленностью разломов (по которым сейчас почти не происходит вторичных подвижек), обилием гранитных массивов.

В противоположность платформам другие участки земной коры характеризуются высокой степенью подвижности. Для них характерны интенсивность движений и дифференцированность их по направлению и по скорости. В геологии они известны под названием геосинклинальных областей. С одной стороны, здесь наблюдаются очень глубокие прогибания и не менее значительные поднятия; с другой стороны, в отличие от платформы, эти движения захватывают лишь сравнительно небольшие участки.

Таким образом, геосинклинальную область можно представлять себе как мозаику интенсивно движущихся в противоположных направлениях небольших участков.

Испытав общее складкообразование, геосинклинальные области превращались в складчатые области; обычно они вскоре испытывали общие поднятия и приобретали горный рельеф. После уничтожения горного рельефа эти районы превращались в равнины. Впоследствии их заливали моря, на дне которых, поверх древних, смятых в сложные складки горных пород, накапливались слои более молодых, горизонтально лежащих рыхлых осадков. Здесь возникала новая платформа, фундамент которой, как видно из сказанного, составляют породы, некогда образовавшиеся в геосинклинальной области.

Прекращение тектонической подвижности происходило не сразу. В течение еще довольно длительного времени складчатая область, возникшая на месте геосинклинальной области, характеризовалась значительной интенсивностью и разнонаправленностью тектонических движений.

Молодых складчатых областей, возникших в геологически недавнее время на площади бывших здесь ранее геосинклинальных областей, на земном шаре очень много. Укажем в качестве примера Кавказ, с его высоко приподнятыми участками Главного Кавказского хребта, к югу от которых располагаются испытывающие опускания Рионская и Куринская низменности, в свою очередь ограниченные с юга горами Малого Кавказа.

Мы говорили, что складкообразование всегда сопровождается образованием разломов, по которым впоследствии

обычно неоднократно наблюдаются новые подвижки. Естественно поэтому, что молодые складчатые области, в которых тектонические движения еще обладают большой интенсивностью, характеризуются в целом резко повышенной степенью сейсмической активности. На их территории происходят многочисленные, в том числе сильные землетрясения.

Но это не единственные на земном шаре сейсмические зоны. Во многих платформенных районах в геологически недавнее время начались очень значительные тектонические движения, причем, что чрезвычайно существенно, дифференцированные. Одни из многочисленных, сравнительно небольших, участков поднимаются, другие опускаются; при этом движения происходят с разной быстротой, нередко даже в рядом расположенных участках.

Это именно те случаи, о которых упоминалось выше, когда в условиях относительно более жесткой среды в результате тектонических движений преимущественное развитие получают разломы, складкообразование же играет второстепенную роль. В этих случаях также наблюдается резкое возрастание сейсмической активности.

Рассматривая распределение на земном шаре сейсмических зон того и другого типа, мы убеждаемся, что пространственно они обычно разобщены. Сейсмические зоны, связанные с молодыми складчатыми областями (последние носят у геологов название альпийских складчатых областей), образуют, грубо говоря, три пояса огромной протяженности, один из которых простирается в общем в широтном направлении, а два — в меридиональном (рис. 6). В широтном поясе, двигаясь с запада на восток, мы видим горы бассейна Средиземного моря, Карпаты, Балканы, Крым, Кавказ, горы Малой Азии. К востоку от Каспийского моря этот пояс продолжают горные сооружения Копет-Дага, Эльбурса и Паропамиза в Иране, Гиндукуша в Афганистане, Гималаев, откуда пояс отклоняется к юго-востоку, в горы Бирмы, Малайи и островов Индонезии.

Меридиональные сейсмические пояса, связанные с альпийскими складчатыми областями, располагаются по западному и восточному побережьям Тихого океана. Западный образован горами Камчатки, Японии, острова Тайвань, Филиппинских островов; восточный — горными хребтами Кордильер и Анд, протягивающимися от северной оконечности Северной Америки до южной оконечности Южной Америки.

Наибольшее количество землетрясений земного шара, возникающих в земной коре, связано с сейсмическими зонами в пределах альпийских складчатых областей.

Вторую большую группу сейсмически активных зон представляют платформенные районы, в недавнее геологическое время захваченные интенсивными тектоническими движениями.

ми. Наряду с возникновением многочисленных разломов и сложными перемещениями вверх и вниз отдельных участков, здесь обычно происходили и общие поднятия. Поэтому данные районы также обладают горным рельефом.

В качестве примеров укажем горы Тянь-Шаня, Алтая, Прибайкалья, Монголии, многих районов западного и северо-западного Китая. Землетрясения здесь несколько менее многочисленны, чем в районах первой группы, но именно в этих зонах чаще наблюдаются подземные удары исключительной силы. Сошлемся на землетрясение 1905 года в северной Монголии, неоднократно уже упоминавшееся землетрясение 1911 года вблизи Алма-Аты, землетрясение 1957 года в Муйской впадине к северо-востоку от северной оконечности Байкала, землетрясение того же 1957 года в Гобийском Алтае, в Монголии (оба последних не принесли разрушений, так как произошли в ненаселенных областях).

В некоторых случаях новейшие тектонические движения на территории бывших платформ не приводят к образованию высокогорного рельефа, хотя и являются интенсивными. Землетрясения в таких районах возникают на равнинах или в низкогорье. Таковы некоторые области Африки (например, в северо-восточной ее части), Центральной Азии.

Наконец, на территориях, на площади которых землетрясения не возникают, потому что там не происходит интенсивных тектонических движений, иногда ощущаются слабые сотрясения от удаленных сильных ударов. Примеры подобных явлений были указаны выше для разных территорий.

Приведенные данные показывают, что на территории СССР сейсмические зоны сосредоточены в основном вдоль ее южной и восточной границ. Карпаты, Крым, Кавказ, горы Туркмении, Тянь-Шань, Алтай, Саяны, Прибайкальские хребты — все это районы, в которых часто возникали и возникают землетрясения. Наибольшей степенью сейсмической активности отличаются районы Туркмении, Южного и Северного Тянь-Шаня и Прибайкалья. Область, расположенная к востоку от Байкала, характеризуется меньшей сейсмичностью, хотя слабые землетрясения неоднократно возникали и здесь.

Новое увеличение сейсмичности наблюдается еще дальше на востоке, на Камчатке, Курильских островах, где начинает сказываться влияние землетрясений, в некоторых отношениях существенно отличающихся от тех, которые мы рассматривали до сих пор.

Перейдем к их характеристике.

ГЛУБОКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Почти все, что мы до сих пор говорили, относится к землетрясениям, очаги которых расположены в земной коре, т. е. до глубин 60—70 км. В сейсмологии такие землетрясения на-

зываются нормальными. Известны, однако, землетрясения и с значительно более глубокими очагами. Так, очаг упоминавшегося Карпатского землетрясения 1940 года (как и ряда других в этом районе) находился на глубине от 100 до 150 км. В горах Гиндукуша (на территории Афганистана, частично Пакистана) очаги располагаются на глубинах до 200—250 км; пояс землетрясений этой глубины продолжается и в пределы юго-западного Памира. Подобные землетрясения сейсмологи называют промежуточными.

Вдоль восточного и западного побережий Тихого океана (в первом районе в пределах материка, во втором — в море), помимо промежуточных, имеются очаги и еще более глубоких землетрясений — максимально до 600—700 км. Их называют глубокофокусными. Пространственно эти районы частично совпадают с районами расположения нормальных землетрясений, связанных здесь с альпийскими складчатыми областями.

Когда речь идет о таких больших глубинах, трудно быть уверенным в такой же степени, как для землетрясений с очагами в земной коре, что вызывают их строго те же причины. Несомненно, что на этих больших глубинах многие условия существенно иные, чем в поверхностных участках (например, давление, температура, состояние вещества). Вследствие этого и физическая сторона процесса, вызывающего землетрясение, здесь может быть также несколько иной, чем в слоях, более близких к поверхности.

Надо подчеркнуть, что чем глубже находится очаг землетрясения, тем менее разрушительными последствиями сказывается оно на поверхности, как бы ни был сам по себе силен подземный удар. Установлено, что самые сильные по своей энергии землетрясения (об энергии мы дальше будем говорить подробнее) не являются разрушительными, если очаги их расположены глубже 300 км. Землетрясения с промежуточной глубиной очага нередко еще приводят к большим разрушениям на поверхности. Это те удары, которые происходят на Карпатах, в Гиндукуше и отчасти по побережьям Тихого океана, в том числе вблизи Камчатки, Курильских островов, Японии. Собственно же глубокофокусные землетрясения уже не разрушительны.

Чтобы больше не возвращаться к этому вопросу, отметим, что чем глубже очаг землетрясения, тем на большей площади оно сказывается и тем проще очертания его изосейст. Сказанное справедливо и в отношении очагов, залегающих в земной коре: чем они глубже, тем большую территорию захватывают сотрясения. На этом основании даже предложен способ приближенного определения глубины очага.

Поскольку глубокофокусные землетрясения не являются разрушительными, а промежуточные распространены сравни-

тельно немного, лишь в некоторых определенных районах, их воздействие на земную поверхность имеет в целом гораздо меньшее значение, чем воздействие нормальных землетрясений. Поэтому мы больше не будем на них останавливаться.

Следует отметить, что изучение промежуточных и глубоководных землетрясений имеет важное научное значение, так как позволяет (хотя и приближенно) судить о процессах, происходящих в Земле на глубине нескольких сот километров. Никакие другие природные явления на земном шаре не дают возможности с подобной степенью уверенности «заглянуть» так глубоко в недра Земли.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПОД ДНОМ МОРЯ

Особого описания заслуживают тектонические землетрясения, возникающие под дном моря и вызывающие морские волны, называемые цунами. Цунами образуются в результате сильного землетрясения, происшедшего в пределах моря и, по-видимому, сопровождающегося мгновенным значительным изменением рельефа морского дна — его опусканиями или поднятиями вдоль линии возникшего разлома. В этих случаях на участках, разделенных линией разлома, происходит быстрое изменение объема воды. В воде возникают волны сжатия и разрежения; достигнув поверхности океана, они приводят к образованию морских волн, распространяющихся со скоростью до 700—800 км в час; длина волн достигает 100—300 км.

В открытом океане такие волны часто остаются незамеченными моряками и не причиняют никакого ущерба кораблям. Однако при подходе к берегам, с уменьшением глубины моря, скорость волн уменьшается, а профиль их искажается — увеличиваются крутизна передней части и высота — на побережьях высота иногда достигает 30 м. Обрушиваясь на берега, цунами производят страшные разрушения, особенно в суживающихся в сторону берега бухтах и проливах; они сметают на своем пути дома, разрушают и повреждают причальные и портовые сооружения, выбрасывают далеко на берег небольшие суда, стоящие на якоре.

В отличие от обычных волн морского прибоя цунами длительно, в течение нескольких минут, оставляют под водой затопленные ими участки, причем обычно наблюдается не одна, а несколько волн, идущих друг за другом с интервалом до 15—20 минут.

Как правило, цунами возникают только в бассейне Тихого океана; от них страдают побережья Азиатского и Американского материков, а в еще большей степени — островов, особенно Гавайских и Японских. Во время цунами 1896 года

семь волн нахлынули на северо-восточное побережье острова Хонсю и южное побережье Хоккайдо (Япония); было разрушено и смыто 10 тысяч домов, погибло 27 тысяч человек. Сильное цунами в ноябре 1952 года, вызванное землетрясением к востоку от Камчатки, причинило крупные повреждения на берегах некоторых Курильских островов и повлекло за собою человеческие жертвы.

Характер цунами и причиняемых ими разрушений несравненно меньше известны широким кругам читателей, чем землетрясения на суше. Поэтому приведем здесь некоторые свидетельства очевидцев цунами на Дальнем Востоке в ноябре 1952 года.

Начальник изыскательской партии Государственного проектного института рыбной промышленности Л. И. Дымченко находился во время землетрясения и последовавшего затем цунами на одной из баз рыбозавода на восточном берегу Камчатки, южнее Петропавловска. Вот что он рассказывает¹.

«5 ноября ночью я проснулся от сильной тряски. Проснувшись, я сообразил, что тряска это — землетрясение, и стал будить товарищей; тряска продолжалась от 3 до 5 минут. Пока мы поднялись, оделись и зажгли свет, землетрясение прекратилось. У меня и всех моих товарищей было ощущение настороженности. Мы пошли осматривать трещины, получившиеся от землетрясения. Трещины эти (шириной 30—40 см) начинались от нашей палатки и шли по направлению к жиротопному цеху, примерно параллельно береговой черте, проходили под жиротопный цех и шли дальше. Жиротопный цех был единственным зданием, которое после землетрясения оказалось разрушенным до основания. У жиротопного цеха трещины были шириной более метра. Недалеко от жиротопки по направлению к пирсу находился засольный цех — большой деревянный сарай длиной 25—30 м. Землетрясением этот сарай был сдвинут в море и под влиянием небольшого западного ветра дрейфовал из бухты в море.

После конца землетрясения прошло минут 10—12, и вдруг мы увидели, что прямо на нас плывет обратно тот самый засольный цех, который только что относило в море, причем плывет теперь с большей скоростью и против ветра. Только тут я сообразил, что цех плывет под действием цунами. Раздумывать было некогда, нужно было спасаться. Я находился от сопки в 700 м, а море было рядом. От меня метрах в 70 находилась шлюпка, вытасненная на берег. Я бросился к шлюпке и добежал к ней уже по колено в воде. Только я успел пры-

¹ Е. Ф. Саваренский, В. Г. Тищенко, А. Е. Святловский, А. Д. Добровольский, А. В. Живаго. Цунами 4—5 ноября 1952 г. Бюллетень Совета по сейсмологии Академии наук СССР, 1958, № 4, стр. 36—37.

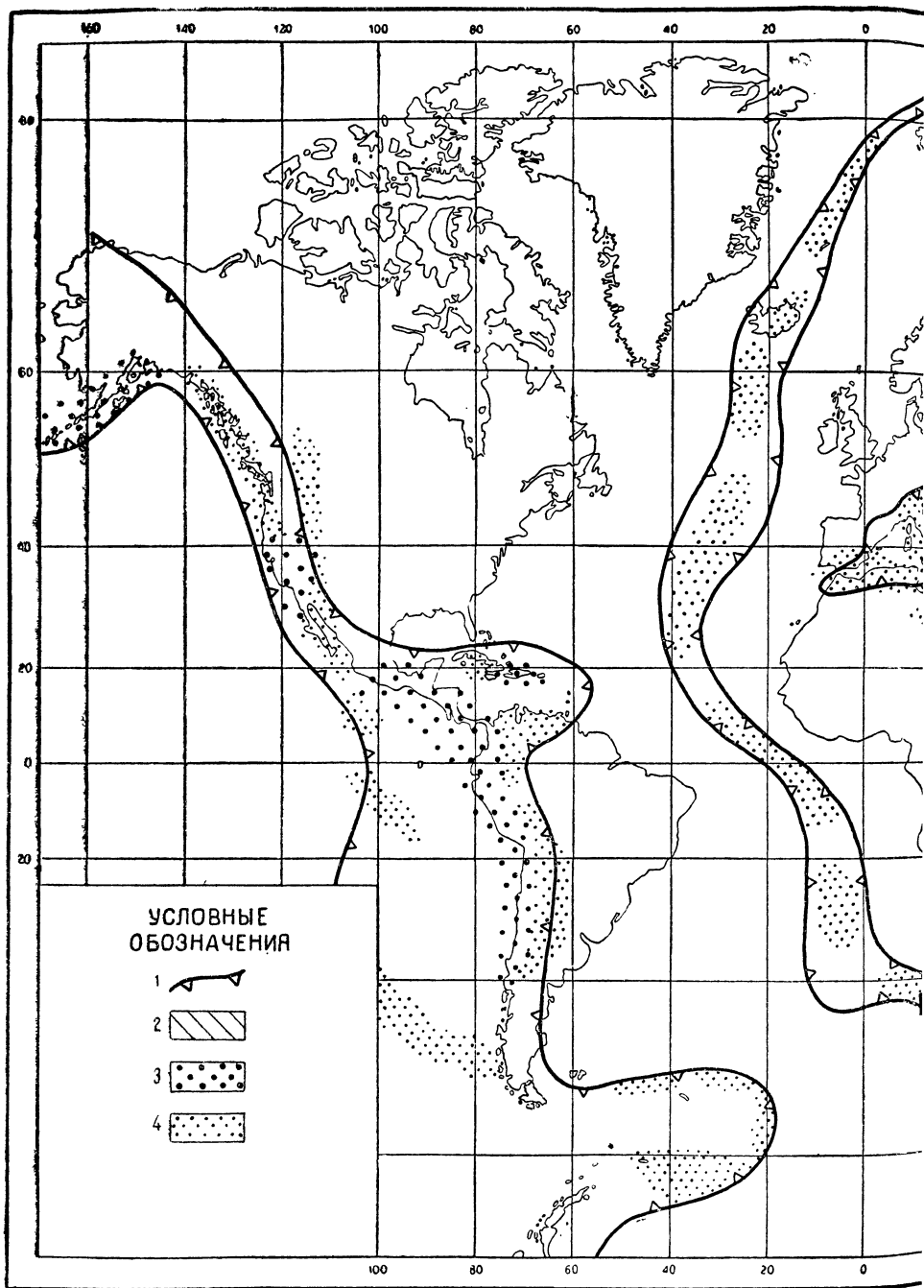
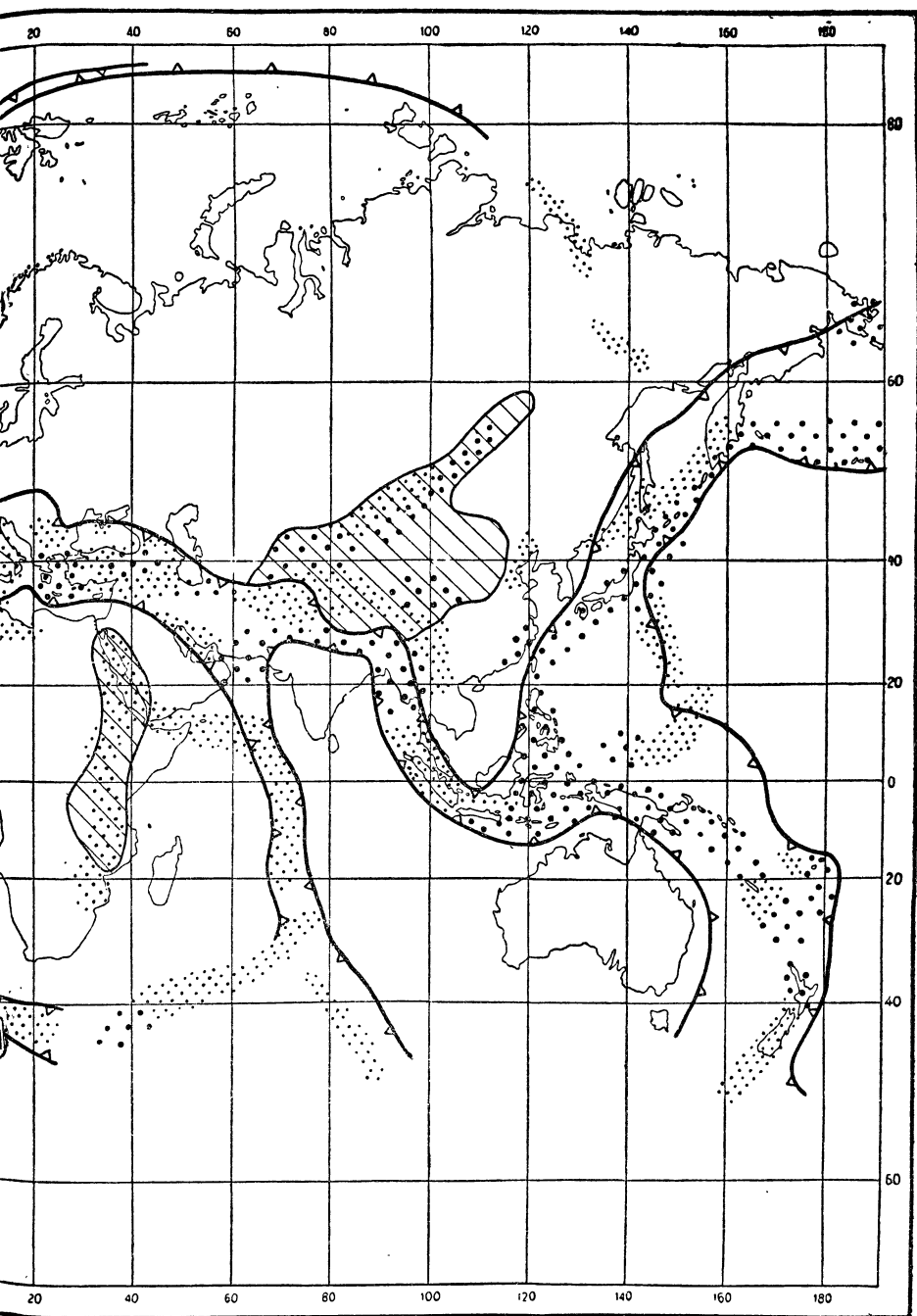


Рис. 6. Карта сейсмических зон. 1—альпийские складчатые и геосинклинальные области; 2—участки платформ с тектоническими движениями; 3—зоны частых, в том числе сильных, землетрясений; 4—зоны менее частых землетрясений.



мичности Земли.

РМ, захваченные в геологически недавнее время интенсивными тектониче-
 —зоны возникновения редких, обычно слабых землетрясений.

гнуть в шлюпку, ее подхватила волна и понесла по направлению к сопкам. Потом волна перегнала шлюпку, оставив меня примерно на том месте, где раньше находилось озеро. Через некоторое время волна отхлынула и смыла с косы, где размещался рыбозавод, шлюпку вместе со мной и массу самых различных пловучих предметов, начиная от бревен, крыш, полов, стогов сена и кончая различными ящиками с консервами, мешками с мукой, различной одеждой и др.

Эта первая волна была сравнительно небольшой высоты, около 4—5 м и, главное, небольшой скорости. Перед волной наблюдался быстрый подъем воды и потом уже налетела сама волна. Волна разрушила почти все дома поселка и потом, отхлынув в море, почти все смыла. Моя шлюпка наполовину была залита водой. Поймав обломок доски, я стал грести по направлению к сопкам, на север, но с северо-запада дул небольшой ветерок. Шлюпка была большая (грузоподъемностью более тонны) и обломком доски, против ветра, я ее сдвинуть не мог.

Немного позже, когда первая волна несколько успокоилась, катер Авачинского рыбокомбината прошел в море недалеко от меня, но с катера меня не видели. Плавая в шлюпке с обломком доски при сильной зыби (зыбь в бухте появилась после первой волны, по-видимому, от того, что волна последовательно отразилась высокими берегами бухты), я думал, что с катастрофой уже все покончено и рассчитывал, как бы мне попасть на сопки (в северном направлении), где горели три костра, зажженные спасшимися людьми. Минут через 10—15 после первой волны я заметил, что со стороны моря в бухту движется огромное ледяное поле, покрытое снегом. Но то, что я принял за ледяное поле, оказалось второй волной гораздо большей высоты (ориентировочно до 10 м) и гораздо большей скорости, с массой пены и водяной пыли. Волна налетела на меня со страшной силой (я даже почувствовал боль от удара воды), подхватила мою шлюпку, высоко подняла ее на гребень и перевернула. Некоторое время волна несла меня вместе с собой; я был под водой так долго, что мне не хватало воздуха. Наконец, вода перегнала меня, я оказался на поверхности и уцепился за плавающее бревно.

Вторая волна цунами, накрывшая меня, в своей верхней части состояла из громадных беляков (аналогичных морским белякам при шторме, но гораздо больших размеров), и сами беляки и пространства между ними были заполнены мельчайшей водяной пылью и брызгами.

Из всего пережитого самым страшным была встреча в бухте с этой второй волной. Увидев свою шлюпку, я перебрался в нее, но сдвинуться с места не мог. Я начинал замерзать, а помощи ждать было неоткуда.

Когда взошло солнце, я увидел, что катера, которые ночью

при первой волне вышли из бухты в море, идут обратно. Я стал им кричать, что было сил. Один из катеров прошел близко от меня, но меня не заметил и прошел дальше. Когда я сообразил, что на катере стоит шум от мотора и меня не слышат. Я перестал грести, поднял весло над головой и стал им махать из стороны в сторону и махал до тех пор, пока катер не повернул ко мне. Меня вытащили на борт, я не мог стоять, так как ноги у меня околели и я их не чувствовал. Резиновые сапоги с меня снимали три матроса, потому что ступни совершенно не гнулись; потом меня начала бить дрожь и лишь через час я согрелся. Всего я проплавал в морской ледяной воде 4 часа».

С наибольшей силой это цунами проявилось на Курильских островах, северной их части (более приближенной к эпицентру землетрясения). Вот что пишут об этом авторы той же работы, из которой взято и приведенное выше сообщение Л. И. Дымченко (стр. 17—19).

«В ночь с 4 на 5 ноября 1952 г. около 4 часов по местному времени жители Северо-Курильска были разбужены 7-балльным землетрясением. Разрушались печи; падали печные трубы; посуда и другая домашняя утварь падали с полок; выплескивалась вода из ведер; люстры сильно раскачивались. Перепуганные люди выбегали из домов.

После прекращения толчков, продолжавшихся несколько минут, большая часть населения стала возвращаться в дома; лишь те, кто ранее был знаком с цунами, в том числе рыбаки корейцы, несмотря на спокойное море, после первого же толчка бросились к горам.

Через 45 минут после начала землетрясения послышался громкий гул со стороны океана и уже через несколько секунд на город обрушилась огромная волна, двигавшаяся с большой скоростью и имевшая наибольшую высоту в центральной части города, где она катилась по долине речки.

Через несколько минут волна отхлынула в море, унося с собой все разрушенное. Отступление первой волны было столь интенсивное, что дно пролива обнажилось на протяжении нескольких сот метров. Наступило затишье.

Через 15—20 минут на город обрушилась вторая, еще большая волна, достигавшая 10-метровой высоты. Эта волна нанесла особо сильные разрушения, смывая все постройки на пути. Позади волны на месте оставались лишь цементные фундаменты домов.

Прошедшая через город волна достигла склонов окружающих гор, после чего начала скатываться обратно в котловину, расположенную ближе к центру города. Здесь образовался огромный водоворот, в котором с большой скоростью вращались всевозможные обломки строений и мелкие суда. В течение нескольких минут в этом водовороте погибло много

людей. Откатываясь, волна ударила с тыла в береговой вал перед портовой территорией, на котором сохранилось несколько домов и материальный склад Курилторга, и в обход горы прорвалась в Курильский пролив. На перемычке между этим островом и горой волна нагромодила груды бревен, ящиков и т. п. и даже принесла из города два дома.

Через несколько минут после второй волны пришла более слабая третья волна, которая вынесла на берег много обломков. Все это было разбросано по территории города и по берегам пролива. В 9 часов утра наблюдались сильные колебания уровня океана, которые, слабея, повторялись в течение всего дня 5 ноября».

В последние годы успешно развивается служба оповещения цунами, что позволяет вовремя предупреждать людей, живущих в районах, которым угрожает это бедствие. Основана она на том, что цунами распространяются во много раз медленнее сейсмических волн; поэтому можно успеть определить положение эпицентра землетрясения за некоторое время до того, как цунами подойдут к берегу. Если оказывается, что землетрясение произошло в пределах моря и является сильным, т. е. может вызвать цунами, об этом дают предупреждение во все населенные пункты, подверженные его действию. Люди успевают уйти на более возвышенные участки.

При Чилийском землетрясении 1960 года цунами проделали путь более 15 тыс. км от берегов Чили по Тихому океану. Хотя при некоторых землетрясениях цунами проделывали и больший путь (свыше 16 тыс. км во время землетрясения 1868 года в Перу, свыше 17 тыс. во время землетрясения 1906 года в Чили), эти данные оказались забытыми, и в некоторых странах служба оповещения цунами не давала после Чилийского землетрясения предупреждения о возможности бедствия. Поэтому приход волн к побережьям Гавайских и Филиппинских островов и Японии явился совершенно неожиданным для населения, волны причинили здесь большие разрушения, погибло много людей. На Курильских островах такое предупреждение было своевременно сделано, и, хотя местами подъем воды был значительным (до 7 м), человеческих жертв за собой это не повлекло — люди успели уйти.

СЛЕДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Возвращаясь к землетрясениям, происходящим на суше и имеющим очаги в земной коре, следует сказать, что на поверхности земли сильные подземные удары вызывают очень разнообразные нарушения. Часто в почве возникают трещины. В одних случаях это трещины, обусловленные оползанием нарушенных землетрясением неустойчивых склонов; в других случаях образуются настоящие разломы, пересекающие не только рыхлые, но и скальные породы. По таким разломам

происходят перемещения участков земли и в горизонтальном и в вертикальном направлениях. Максимальные амплитуды таких перемещений в результате одного землетрясения по обоим этим направлениям примерно равны 19—20 м. Гораздо чаще, однако, перемещения измеряются сантиметрами или несколькими десятками сантиметров.

При очень сильных землетрясениях иногда возникают грандиозные зоны разломов. Так, во время очень сильного землетрясения в Гобийском Алтае, в Монголии, в декабре 1957 года, вдоль хребта образовалась разломная зона протяжением в 300 км, состоящая из отдельных меньших разломов. Трещины протянулись прямолинейно, рассекая все, что оказалось на их пути, — равнинные участки, скалы, речные долины, дороги. Ученым, обследовавшим этот район вскоре после землетрясения и осматривавшим его с воздуха, из самолета, казалось, что вдоль хребта по гигантской линейке провели глубокую черту.

При одном из сильных землетрясений в Японии удалось наблюдать страшное явление такого «вздоха» земли: возникла трещина, в нее попал человек; раньше, чем он успел оттуда выбраться, края трещины сошлись, и человек был раздавлен.

Чрезвычайно часто землетрясения вызывают горные обвалы, пыль от которых нередко подолгу держится в воздухе. Иногда такие обвалы сноят леса, растущие на склонах гор, разрушают постройки, а в некоторых случаях приводят к серьезным изменениям рельефа земной поверхности. В 1911 году на Среднем Памире произошло сильное землетрясение, следствием которого явился огромный обвал — обрушилась целая гора. Обвал перегородил долину реки Мургаб, не очень широкую, но очень глубокую (несколько сот метров). Несмотря на то, что Мургаб—бурная и стремительная река, течение в ней на некоторое время прекратилось. Выше завала начало образовываться озеро, протягивавшееся вверх по долине. Позднее из-под нижней части завала пробились родники и течение в реке возобновилось, но озеро сохранилось. Это — известное Сарезское озеро, имеющее длину свыше 60 км и максимальную глубину 505 м. Таково же происхождение горного озера Гекгель в Азербайджане, к югу от Кировабада.

Иногда в результате сильного землетрясения с крутых склонов гор соскальзывают рыхлые, пропитанные водой земляные массы. Сваливаясь в долины, увлекая свободные лежащие камни (всегда многочисленные на склонах гор) и отрывая их от выветрелых скал, эти массы образуют грязекаменные потоки,двигающиеся со скоростью поезда и разрушающие все на своем пути не только в долинах, но и на некотором расстоянии по выходе в пониженные участки. Толщина таких потоков иногда достигает нескольких десятков метров

(рис. 7). Во время Хаитского землетрясения в Таджикистане в 1949 году этими потоками был уничтожен ряд поселков.

В эпицентральной области сильного землетрясения колебания почвы бывают настолько значительными, что сбивают с ног людей и животных, сбрасывают с дорог идущие автомашины. При Гоби-Алтайском землетрясении 1957 года удалось

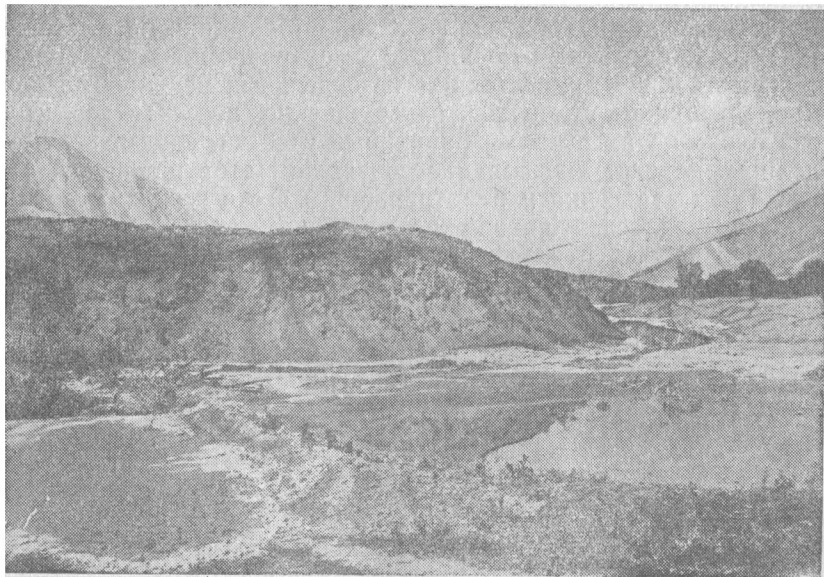


Рис. 7. Конец застывшего грязекаменного потока при Хаитском землетрясении 1949 года. Фото С. В. Медведева.

наблюдать (по-видимому, впервые в истории сейсмологии) чрезвычайно интересное явление потери людьми сознания в момент главного удара. Из респонсов пастухов-монголов, находившихся во время землетрясения непосредственно в эпицентральной области, поблизости от образовавшейся зоны разломов протяженностью в 300 км, выяснилось, что потеряли сознание несколько человек, причем — что особенно интересно — не после удара, а очевидно, за какую-то долю секунды до него, так как ни гула, ни толчка они не ощущали. Оставшиеся в сознании видели, как овцы, с силой сбитые с ног, кувырком катились по земле.

Обычное явление при землетрясениях — изменение режима источников; дебит одних из них резко возрастает, других — уменьшается; иногда эти изменения оказываются устойчивыми, но часто через некоторое время восстанавливается прежний режим. Очевидно, нарушаются подземные каналы, по которым происходит питание источников водой.

В некоторых случаях в местностях, бывших ранее безводными, в результате землетрясения возникают небольшие водные вулканчики, действующие в течение немногих часов. Высота конусов таких вулканчиков измеряется сантиметрами или несколькими десятками сантиметров.

СИЛА И ЭНЕРГИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Различное воздействие землетрясений на земную поверхность зависит от ряда причин, среди которых важнейшее место имеет сила землетрясения. В СССР принята 12-балльная шкала для оценки этой силы. Она построена на основании анализа внешних проявлений землетрясений. Приведем ее в кратком виде.

1 балл — незаметное землетрясение. Отмечается лишь сейсмическими приборами.

2 балла — очень слабое землетрясение. Отмечается приборами, ощущается некоторыми нервными или особо чуткими лицами, находящимися в состоянии полного покоя.

3 балла — слабое землетрясение. Даже в густо населенной местности ощущается немногими людьми как сотрясение от быстро проехавшего мимо экипажа.

4 балла — умеренное землетрясение. Под открытым небом ощущается немногими, внутри зданий — многими. Наблюдается дрожание или легкое колебание мебели, звон оконных стекол, скрип дверей, балок, полов.

5 баллов — довольно сильное землетрясение. Ощущается всеми находящимися в зданиях. Наблюдается скрип мебели, раскачивание висячих предметов. Из наполненных открытых сосудов выплескивается жидкость. Сдвигаются с места картины, падают мелкие предметы, раскачиваются ветви кустов и деревьев. Спящие люди просыпаются.

6 баллов — сильное землетрясение. Падают картины, бьется посуда, сдвигается мебель, от потолка и стен откалываются небольшие куски штукатурки. Люди чувствуют испуг, многие выбегают на улицу.

7 баллов — очень сильное землетрясение. Падают и ломается мебель, происходит волнение в водоемах, мутнеет вода от взмученного ила, стены зданий дают трещины, осыпается штукатурка, падают лепные украшения, кирпичи, кровельная черепица, повреждаются дымовые трубы. Плохо построенные здания серьезно повреждаются, антисейсмические постройки¹ остаются невредимыми.

8 баллов — разрушительное землетрясение. Каменные ограды разваливаются, каменные дома трескаются и частично

¹ Построенные с учетом воздействия на них колебаний при землетрясениях. Конструкции зданий при этом специально укрепляют.

разрушаются, обваливаются дымовые и фабричные трубы, статуи и памятники поворачиваются и опрокидываются, раскачиваются стволы деревьев, на крутых склонах в земле появляются трещины.

9 баллов — опустошительное землетрясение. Сильное повреждение каменных домов европейской постройки, некоторые из них становятся непригодными для жилья. Саманные и каменные постройки того типа, которые распространены в сельских районах Средней Азии и Кавказа, разрушаются полностью (рис. 8). Человеческие жертвы.



Рис. 8. Разрушенный дом при сотрясении силой 9 баллов; Хаитское землетрясение. Фото С. В. Медведева.

10 баллов — уничтожающее землетрясение. Большинство каменных построек разрушается вместе с фундаментом, даже прочные кирпичные стены дают значительные трещины, слегка искривляются железнодорожные рельсы, растрескиваются и коробятся каменные и асфальтовые мостовые, сильно повреждаются деревянные постройки, вдоль склонов появляются широкие трещины, происходят оползни и обвалы.

11 баллов — катастрофа. Каменные постройки всех типов почти полностью разрушаются, гибнет и большинство деревянных построек. Разрушаются мосты, разрываются плотины, искривляются рельсы и металлические фермы, трубопроводы под землей рвутся, появляются многочисленные широкие трещины в земле, оползни, обвалы, оплывины.

12 баллов — сильная катастрофа. Не выдерживает ни одно сооружение. Громадные изменения в почве — возникают

крупные разломы, смещаются большие участки земной поверхности, осыпаются берега, реки меняют русла.

Недостатком приведенной шкалы является то, что оценка силы землетрясений по ней отличается известной субъективностью. В зависимости от разных, чисто местных условий (например, различий строения грунта), в которых проводятся наблюдения, одному и тому же землетрясению нередко приписывают разную силу. Так, для Ашхабадского землетрясения 1948 года эта оценка расходилась на два балла — некоторые наблюдатели оценили его силу в 11 баллов, тогда как в действительности оно было 9-балльным.

Еще труднее по этой шкале сравнивать землетрясения, происшедшие в разной геологической обстановке, в разных областях, удаленных друг от друга, а тем более в разных государствах.

Поэтому в последнее время предложен ряд других шкал, в которых сила землетрясения оценивается путем математических вычислений на основании записей сейсмографов, регистрирующих землетрясения. Теперь получает распространение шкала, в которой сила землетрясения определяется в зависимости от максимальной величины смещения частиц почвы на некотором расстоянии от эпицентра. Получаемая таким образом характеристика дает представление об интенсивности землетрясения, позволяя судить о вычисленной математическим путем его энергии. Самые слабые землетрясения по этой шкале имеют интенсивность 0, а самые сильные — около 9. Пользуясь этой шкалой, можно увереннее сопоставлять между собой землетрясения, происшедшие в разных областях земного шара.

Энергия землетрясения, выделяющаяся в очаге, является исключительно большой. При очень сильном землетрясении ее выделяется в несколько миллионов раз больше, чем при взрыве так называемой «стандартной» атомной бомбы, типа тех, которые в 1945 году были сброшены на Хиросиму и Нагасаки. При 11—12-балльном землетрясении энергии выделяется 10^{25} эрг¹, что примерно соответствует энергии такой станции, как ДнепрогЭС при ее непрерывной работе в течение 300—350 лет.

Приближенное представление о соотношении между силой, интенсивностью, энергией и частотой землетрясений может дать таблица на стр. 34.

Из таблицы следует, что землетрясения с показателем интенсивности 5 происходят в 10 раз чаще, чем землетрясения интенсивности 6, последние — в 10 раз чаще, чем землетрясения интенсивности 7 и т. д. Кроме того, видно, что хотя слабые

¹ Эрг — единица измерения работы и энергии, равная работе силы в одну дину на пути в 1 см.

Сила, интенсивность, энергия и частота землетрясений

Характер землетрясения	Сила (в баллах)	Интенсивность	Энергия (в эргах)	Число землетрясений в год
Катастрофическое	11—12	8 и больше	10^{25}	1
Сильно разрушительное	9—11	7,0—7,9	10^{23}	10
Разрушительное	7—9	6,0—6,9	10^{21}	100
Сопровождающееся повреждениями	6—7	5,0—5,9	10^{19}	1 000
Довольно слабое	5—6	4,0—4,9	10^{17}	10 000
Только ощутимое	4—5	3,0—3,9	10^{15}	100 000

землетрясения происходят в сотни и тысячи раз чаще сильных, в энергетическом отношении слабые землетрясения, даже все вместе взятые, не могут идти ни в какое сравнение с сильными, выделяющими гораздо больше энергии.

РЕГИСТРАЦИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В результате землетрясения в его очаге начинается колебательное движение частиц вещества земли, распространяющееся от очага во все стороны в виде упругих волн. Мы кратко уже упоминали о них, но сейчас необходимо подробнее остановиться на этом вопросе, чтобы стало понятным, каким образом осуществляется регистрация землетрясений на сейсмических станциях.

Колебания, возникающие в очаге, представляют собой крайне сложный комплекс явлений, но некоторые из них проявляются особенно ярко. Часть волн от очага уходит в глубь Земли и обычно очень трудна для изучения. Часть волн быстро достигает земной поверхности и вполне доступна изучению. Среди этих волн, распространяющихся в твердой среде, сейсмологи различают так называемые продольные и поперечные волны.

При продольных волнах частицы среды то сближаются, то разрежаются, двигаясь в том же направлении, в котором идет волна. Примером таких колебаний в обыденной жизни могут служить звуковые волны, вызываемые частыми последовательными толчками, которые звучащее тело сообщает воздушной среде. Эти толчки обуславливают повторное сжатие и разрежение воздушных слоев, которые передаются все более далеким концентрическим слоям воздуха. Продольные волны распространяются в толще земли со скоростью до 7—14 км в секунду.

При прохождении поперечных волн частицы среды колеблются в направлении, поперечном тому, по которому идет волна. Примером их в обыденной жизни, на поверхности, могут быть кольцевые волны, вызванные брошенным в воду камнем. В толще земли поперечные волны распространяются с меньшей скоростью, чем продольные — до 4—10 км в секунду.

Эти различия скоростей распространения продольных и поперечных волн имеют большое значение при регистрации землетрясений. На отдаленную от эпицентра сейсмическую станцию продольные волны приходят первыми и отмечаются сейсмографом как первая фаза колебаний. Поперечные волны приходят позднее и отмечаются как вторая фаза колебаний с несколько большим размахом. Поскольку разница во времени прибытия тем больше, чем дальше отстоит станция от очага землетрясения, то по отметкам времени прибытия этих волн можно судить о расстоянии очага землетрясения от станции.

Достигнув поверхности земли, прежде всего в эпицентральной зоне, как в ближайшей к очагу области, продольные и поперечные волны дают начало волнам, распространяющимся по поверхностным слоям земли. Размах их колебаний значительно больше, они отмечаются сейсмографами как третья или главная фаза колебаний. Возникнув в эпицентре, эти волны распространяются во все стороны со скоростью 3—4 км в секунду.

Сейсмические станции, регистрирующие землетрясения, снабжены для этого специальными приборами — сейсмографами. Схема их строения такова: металлический груз прикреплен к раме, подвешенной на пружине; груз может колебаться в вертикальном или горизонтальном направлении; к грузу прикреплен легкий рычаг с пером на конце; это перо лежит на бумаге, намотанной на медленно вращающийся барабан. При отсутствии землетрясения вся система остается неподвижной, и перо на вращающемся барабане вычерчивает прямую линию. Когда же начинаются колебания от землетрясения, то подставка, на которой укреплен прибор, смещается по отношению к грузу, так как последний в силу инерции отстает в движении от подставки. Смещается и рычаг с пером, прикрепленный к грузу, и перо начинает чертить на бумаге зигзагообразную линию, изображающую, в увеличенном виде, колебания частиц земли (рис. 9).

На заре сейсмологии (в 80-х годах прошлого века) запись обычно производилась пером по закопченной бумаге. Точность таких записей была крайне низка.

В начале нашего столетия русский ученый Б. Б. Голицын изобрел сейсмограф, действующий с помощью гальванометров. Принцип гальванометрической регистрации был положен

и в основу последующих, более усовершенствованных сейсмографов.

В современных сейсмографах запись производится световым лучом (или, как его часто называют, световым зайчиком), отбрасываемым высокочувствительным гальванометром на медленно и равномерно движущуюся ленту фотобумаги. При отсутствии колебаний почвы в сейсмографе не возникает электродвижущей силы и гальванометр не отклоняет светового луча — зайчик оставляет на бумаге след в виде прямой линии. Происходящие же при землетрясении колебания возбуждают

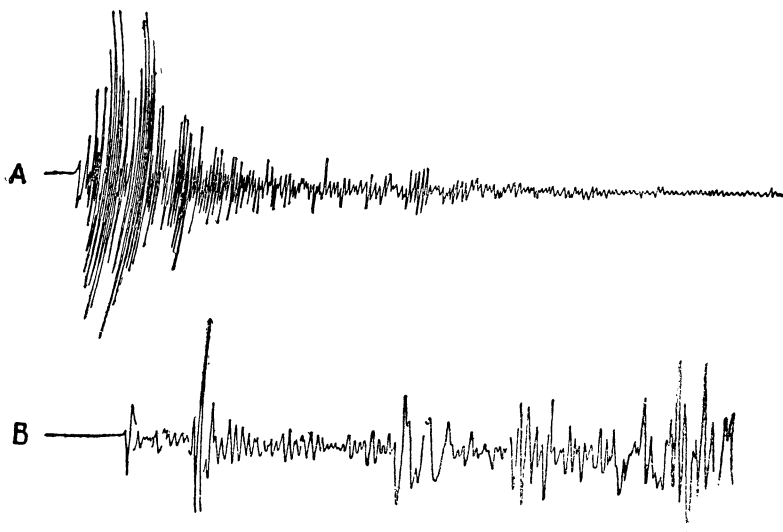


Рис. 9. Примеры сейсмограмм:

А—сейсмограмма близкого землетрясения; В—сейсмограмма удаленного землетрясения.

электродвижущую силу, вследствие чего зеркальце гальванометра отклоняет световой луч. Это отклонение фиксируется в виде ломаной зигзагообразной линии. В сейсмографах этой системы исключена необходимость преодолевать трение, неизбежное при непосредственной записи пером по бумаге и понижающее чувствительность прибора. Запись на современных сейсмографах становится видна лишь после проявления фото бумаги.

На постоянно действующих сейсмических станциях употребляются сейсмографы, у которых способность к восприятию колебаний увеличена в несколько сот и даже тысяч раз. Это именно те приборы, которые отмечают землетрясения даже средней силы на расстоянии многих тысяч километров.

Однако для изучения сейсмичности в пределах небольших районов, где обязательно знать характер и очень слабых землетрясений, не отмечаемых сейсмографами постоянно действующих станций, понадобились и более высокочувствительные приборы. Они устанавливаются на временно (в течение нескольких месяцев или лет) работающих сейсмических станциях, исследующих сейсмичность данной области. Такие станции называют региональными. Употребляющиеся здесь сейсмографы имеют увеличение в несколько десятков тысяч раз и регистрируют даже самые ничтожные землетрясения. При некоторых специальных исследованиях применяется настолько чувствительная сейсмическая аппаратура, что удается записывать землетрясения, которые в десятки раз слабее удара, оцениваемого в 1 балл. Напомним, что люди начинают ощущать землетрясения силой в 3—4 балла.

Анализ сейсмограмм станций, записавших данное землетрясение, позволяет не только определить положение его эпицентра, интенсивность, оценить энергию, но в некоторых случаях дает возможность судить о механизме движения масс в очаге землетрясения — об ориентировке вызвавшего его разлома, направлении, в котором произошло смещение, и т. д. Эти данные представляют исключительный интерес для познания процесса образования землетрясений.

В сравнительно недавнем прошлом эпицентры удавалось определять с точностью всего до ± 50 — 100 км¹. Точность эта совершенно недостаточна для построения надежных карт сейсмического районирования. В настоящее время точность значительно повышена. При проведении ряда региональных исследований удается определять эпицентры и очаги землетрясений с точностью до ± 3 — 5 км.

Постоянно действующие станции располагают преимущественно в сейсмических областях. В СССР в настоящее время около 100 подобных станций. Разветвленная сеть сейсмических станций есть и в некоторых других странах — в Японии, США.

В заключение отметим, что изучение распространения волн от землетрясений дает в руки ученых бесценный материал для познания глубоких частей земного шара. Устанавливая границы, где эти волны испытывают преломления и отражения, изучая изменения скорости распространения волн, сейсмологи получают возможность выделять в недрах Земли слои, различающиеся по своим физическим свойствам. Это позволяет, хотя и косвенно, судить о составе этих слоев и о том состоянии, в котором находится их вещество.

¹ Это означает, что истинное местоположение эпицентра (понимаемого в виде точки) может находиться в любом пункте окружности, имеющей радиус в 50—100 км и описанной из центра, за который принято местоположение предполагаемого эпицентра.

БОРЬБА С РАЗРУШИТЕЛЬНЫМИ 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, живущих в сейсмических областях?

В первый момент ответ на этот вопрос может показаться простым — в сейсмических областях надо возводить постройки, которые не разрушались бы и при самых сильных ударах. Подобный ответ принципиально правилен, но трудность заключается в том, что для этого надо знать, где может произойти землетрясение и какова будет его сила, ибо, конечно, невозможно во всех районах, опасных в сейсмическом отношении, вести строительство из расчета максимального балла землетрясения. Это было бы неоправданной тратой огромных средств, потому что чем выше балл по 12-балльной шкале, тем более должны быть укреплены возводимые сооружения. При антисейсмическом строительстве в конструкции сооружений вводятся специальные усложнения, способствующие лучшей сопротивляемости здания воздействию сейсмических колебаний — особые поэтажные бетонные пояса, применяются строительные материалы лишь самого высокого качества, не возводятся многоэтажные постройки и т. д. Все это очень удорожает строительство.

Антисейсмические мероприятия при строительстве начали применяться в нашей стране уже довольно давно, но на первых порах строители могли получать от сейсмологов лишь довольно общие указания о силе ожидаемых в данном районе землетрясений. Однако при огромном размахе строительства в СССР, в том числе в сейсмически опасных областях Средней Азии, Кавказа, Крыма, Сибири, необходимо было иметь более точные и конкретные указания относительно того, где и какой силы могут произойти землетрясения. Это дало бы возможность не тратить лишних средств на чрезмерное укрепление возводимых сооружений, но в то же время строить их так, чтобы была гарантирована безопасность людей и сохранность самих зданий.

Отсюда возникла проблема предсказания (прогноза) землетрясений, в связи с которой в Советском Союзе в последние 15—20 лет были проведены большие исследования. Поначалу они осуществлялись Академией наук СССР — Геофизическим институтом, ныне реорганизованным в Институт физики Земли. Впоследствии к этим работам присоединились многие Академии наук союзных республик — Грузинской, Узбекской, Таджикской, а также другие организации.

Расскажем о том, как проводятся эти исследования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ВОЗМОЖНЫХ В БУДУЩЕМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В проблеме предсказания землетрясений следует различать две стороны — во-первых, определение места возникновения возможного в будущем землетрясения и, во-вторых, его времени. Остановимся сначала на первой. Хотя и она представляет собой исключительно сложную задачу, но решать ее все же легче, чем задачу определения времени возникновения землетрясения.

Для установления мест возникновения возможных в будущем землетрясений необходимо проведение комплексных исследований — сейсмологических, геологических и инженерно-сейсмологических. Сейсмологи стремятся дать наиболее полную характеристику происходящих землетрясений. Чем точнее будут определены их эпицентры и очаги, тем точнее мы будем знать места возникновения уже происшедших землетрясений и тем увереннее можно будет сопоставлять эти данные с данными о геологическом строении.

Выше отмечалось, что еще в недавнее время эпицентры определяли с точностью всего до ± 50 — 100 км. В настоящее время в районах достаточно густого расположения постоянно действующих станций определения даются с гораздо более высокой точностью, до ± 25 — 35 км (в удаленных от сейсмических станций районах точность остается малой — около ± 50 км). При региональных исследованиях сейсмичности добиваются еще более высокой точности — до ± 3 — 5 — 10 км, причем с такой же точностью определяют и глубины очагов, которые по записям постоянно действующих станций пока устанавливаются лишь весьма приблизительно (в пределах земной коры). Хотя данные региональной сети характеризуют только сравнительно небольшие участки, на площади которых разбиты региональные станции, материалы эти исключительно важны, так как во многих случаях позволяют уверенно сопоставлять данные о расположении землетрясений с теми или иными конкретными геологическими структурами¹ — разломами, группами складок, распознаваемыми на земной поверхности.

Мы указывали также, что на основании изучения сейсмограмм определяется и интенсивность землетрясений, а в ряде случаев удается выяснить и характер нарушений в очаге зем-

¹ Буквальный перевод латинского слова «структура» значит «строение». В геологической литературе понятие «геологические структуры» употребляется как собирательный термин, под которым понимают различные, сформировавшиеся в результате тектонических движений образования — складки, глыбы, разломы. Несмотря на свою большую нечеткость, этот термин применяется весьма широко.

летрясения — направление смещения по разлому, крутизну последнего и т. д.

В результате всех этих работ получается надежный статистический материал относительно землетрясений, происшедших в данном районе и записанных сейсмографами.

Значительно менее надежны сведения о местоположении и силе землетрясений того времени, когда сейсмической службы еще не существовало, особенно о землетрясениях, происшедших сотни лет назад. Сведения о них черпаются в научных сочинениях, в газетах, а для давнего времени — в исторических хрониках, записках путешественников, летописях. Эти данные, хотя и с большой осторожностью, также необходимо принимать во внимание, так как записи сейсмических станций относятся к слишком короткому периоду — ведь первые станции на земном шаре начали работать всего 60 лет назад, в начале нашего столетия.

Но одного статистического материала по сейсмичности для решения вопроса о месте возникновения возможного в будущем землетрясения недостаточно. Важную роль играют здесь геологические данные. Мы знаем, что землетрясения происходят в результате тектонических движений. Но в результате тектонических движений образуются и геологические структуры — складки, разломы, глыбы. Следовательно, между происхождением землетрясений и геологических структур существует несомненная связь, как мы уже упоминали об этом. Это позволяет устанавливать геологические особенности, которые являются важными для понимания причин повышения сейсмичности в данном районе.

Для этого, пользуясь обычными геологическими методами, изучают геологические структуры, выясняют их строение, историю развития в минувшие геологические периоды и — особенно подробно — характер тектонических движений. Большое место среди этих последних исследований отводится изучению самых недавних и современных тектонических движений, так как именно они вызывают землетрясения.

Затем эти геологические данные сопоставляют со статистическими данными по сейсмичности, касающимися расположения эпицентров, интенсивности землетрясений, глубин очагов. В результате такого сопоставления намечаются некоторые закономерные связи между сейсмичностью и геологической обстановкой изучаемого района.

Хотя причина у всех тектонических землетрясений одна — разломы, образующиеся на той или иной глубине, геологическая обстановка на земной поверхности в этих участках может быть совершенно различной. Зависит это от ряда причин, прежде всего от различий строения и характера движений в более глубоких зонах под данными участками.

Следовательно, если в разных областях повышение сей-

смичности вызывается разломами, происходящими в разной глубинной обстановке, то и на земной поверхности землетрясения оказываются связанными с различными геологическими особенностями. Например, в одном случае они могут быть связаны с границами по-разному движущихся участков; в другом — с системами разломов одного определенного направления, не видимыми на поверхности и устанавливаемыми косвенным путем; в третьем — с пересечением складок или разломов разного возраста.

В ряде случаев одни и те же соотношения между сейсмичностью и особенностями геологической обстановки наблюдаются на значительных площадях изучаемой крупной области. Тогда становится возможным следующий вывод: если в каком-то из районов этой области землетрясения нам и неизвестны, но геологическая обстановка здесь такая же, как и в остальных районах, где землетрясения происходили, то и первый район следует считать сейсмически опасным. Аналогичным образом удастся выделять и более спокойные зоны. Это позволяет в первом приближении давать оценку большей или меньшей степени сейсмической активности изучаемой территории.

Остановимся в заключение на инженерно-сейсмологических исследованиях, касающихся изучения влияния грунтовых условий, глубины подземных вод и условий рельефа на характер сейсмических колебаний. Известно, что здания, возведенные на разных грунтах, по-разному переносят сотрясения: построенные на скальных грунтах более устойчивы, на рыхлых — менее, они в большей мере подвержены разрушениям. Если грунтовые воды находятся близко к земной поверхности, это усиливает величину сотрясения. Поселок, расположенный в равнинной местности, лучше переносит землетрясение, чем построенный на крутом склоне речной долины или холма.

Все эти особенности могут увеличивать или ослаблять силу сотрясения иногда на целый балл в ту или другую сторону против среднего балла, установленного для данного района. Поэтому понятно, насколько важны исследования, связанные с вопросами инженерной сейсмологии.

КАРТЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАИОНИРОВАНИЯ

В результате описанных комплексных геолого-сейсмологических исследований в сейсмических областях СССР удалось наметить различные зоны, в которых можно предполагать проявление сейсмических колебаний определенной силы. Такие зоны выделены для значений в 6, 7, 8 и 9 баллов 12-балльной шкалы. Землетрясения слабее 6-балльных не влекут за собой разрушений, поэтому нет необходимости выделять зоны ниже 6-балльных. Землетрясения сильнее 9-балльных в пределах СССР происходят чрезвычайно редко; поэтому нецеле-

сообразно выделять зоны выше 9 баллов; однако для некоторых районов указано, что на их площади могут быть землетрясения и сильнее 9-балльных.

При очень высокой точности определения эпицентров и очагов (что достигается разбивкой региональной сейсмической сети) и детальности геологических исследований иногда удается выделить относительно узкие зоны, в которых можно ожидать сильных землетрясений. Такие работы обычно проводятся в связи с каким-либо большим строительством (например, сооружением крупных гидроэлектростанций).

Карты, на которых показаны зоны сотрясений разной силы, называют картами сейсмического районирования. Сводную карту подобного рода для всей территории СССР составляет Институт физики Земли Академии наук СССР, затем она утверждается правительственными органами и становится обязательным документом для всех строительных организаций (рис. 10). При проведении строительства в сейсмических районах они обязаны соблюдать антисейсмические мероприятия

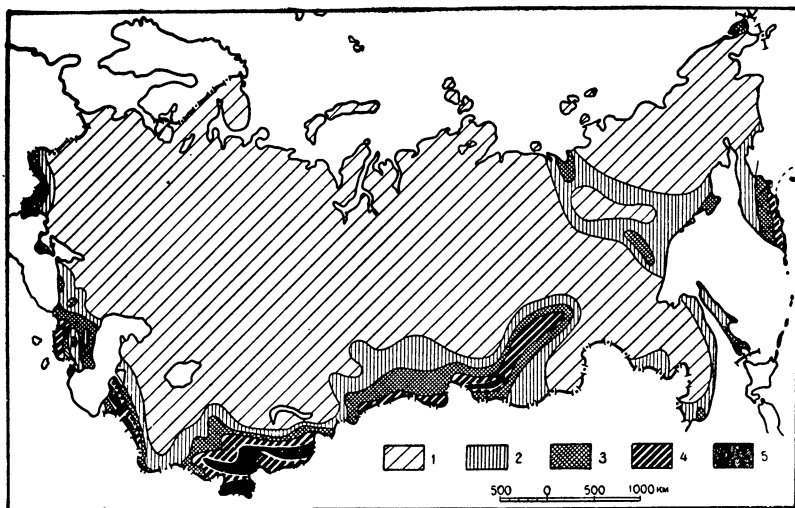


Рис. 10. Карта сейсмического районирования территории СССР. Составлена в Геофизическом институте Академии наук СССР в 1957 году: 1—зона сотрясений от 5 баллов и ниже; 2—6-балльная зона; 3—7-балльная зона; 4—8-балльная зона; 5—зона 9 баллов (местами и выше).

по укреплению возводимых сооружений в соответствии с нормами, существующими для каждой зоны, показанной на карте.

Советский Союз был первой страной, в которой карта сейсмического районирования начала применяться в качестве официального нормативного документа при строительстве. В последние годы большие работы по составлению аналогич-

ных карт проводятся в ряде демократических стран—Китае, Болгарии, Румынии, Албании, использующих опыт советских сейсмологов и геологов.

Первый вариант карты сейсмического районирования территории СССР был составлен около 20 лет назад. С тех пор карта неоднократно уточнялась и улучшалась. Естественно, что сразу дать безупречный ее вариант было невозможно, поскольку мы имеем дело с очень сложным природным явлением, причины которого во многом еще неясны и при современных методах исследования не поддаются непосредственному изучению. Вероятно, некоторые неточности содержатся и в ныне действующей карте, хотя за годы, прошедшие после ее утверждения, ряд землетрясений уже «подтвердил» правильность показанных на ней зон разной балльности. Тем не менее, пусть еще не вполне совершенная, эта карта позволяет правильно в целом оценивать сейсмическую активность разных районов. При соблюдении норм антисейсмического строительства это делает более безопасной жизнь людей в сейсмических областях и способствует рациональному расходованию тех крупных средств, которые затрачиваются здесь на строительство.

Таким образом, предсказание места возможных в будущем землетрясений советские ученые в первом приближении научились делать.

О ПРЕДСКАЗАНИИ ВРЕМЕНИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Значительно хуже обстоит дело с предсказанием времени возникновения землетрясений. Советские и иностранные ученые неоднократно пытались при помощи особых высокочувствительных приборов определить, не проявляются ли перед землетрясением каким-нибудь специфическим образом те очень слабые колебания, те слабые наклоны, которые всегда испытывает земная поверхность. Эти так называемые наклонномерные исследования проводились в ряде сейсмических областей. Ставили работы по изучению слабых толчков, которые могут предшествовать сильному землетрясению. Изучали величины деформаций участков, в которых происходят землетрясения, чтобы установить, не наблюдается ли здесь какого-либо изменения перед сильным ударом, которые можно было бы считать признаком того, что эти деформации становятся опасными и могут разрешиться землетрясением. Исследовали магнитное поле районов, где происходят землетрясения.

Все эти работы пока не дали надежных результатов, но исследования продолжаются.

Надо надеяться, что усилия ученых по изучению проблемы предсказания времени возникновения землетрясений приведут к ее успешному решению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В древние времена люди склонны были видеть в землетрясениях проявление «потусторонних сил». Землетрясения считали то наказанием небес за «содеянные прогрешения», то «наваждением дьявола», то еще чем-либо в этом роде, и так и писали о них, например, в библии.

Древние философы и ученые Греции и Рима высказывали гипотезы, уже более близкие современным представлениям. Хотя бы тем, что землетрясения пытались объяснить естественными процессами, происходящими внутри Земли. Так, крупнейший ученый древней Греции Аристотель полагал, что землетрясения происходят оттого, что пары или воздух, сжатые в подземных пустотах, стремятся выйти на поверхность. Считалось, что попадание воздуха и паров в пещеры связано с вулканическими процессами. Другие — Страбон, Плиний — связывали землетрясения непосредственно с вулканическими явлениями.

В конце XVIII — первой половине XIX века предположения о связи землетрясений с вулканическими процессами получили полное господство в результате работ немецких ученых Гумбольдта и Буха, использовавших многие представления философов и ученых древнего мира.

Только во второй половине XIX века на землетрясения установился взгляд, как на явления, тесно связанные с тектоническими процессами, с процессами движения земной коры. Крупнейшая заслуга в этом принадлежит ряду ученых — австрийцу Зюссу, русским — И. Мушкетову, Лагорио, Абиху и другим.

Материалы, изложенные в настоящей работе, с полной ясностью показывают, какое сложное природное явление представляет собой землетрясение. Многое здесь, как мы видели, еще мало известно ученым. Мы плохо знаем механизм движения масс в очаге землетрясения, не можем предсказать времени, когда разразится сильный подземный удар, далеко не всегда можем распознать по наружным геологическим признакам, насколько может быть опасен в сейсмическом отношении данный район и т. д.

Вместе с тем основные особенности процессов, вызывающих землетрясения, уже выяснены в такой степени, что ученым сейчас достаточно ясны пути, по которым следует двигаться в дальнейшем для получения полного исчерпывающего представления о природе землетрясений.

Необходимо подчеркнуть, что землетрясения в наибольшей степени, по сравнению с любыми другими природными явлениями, позволяют нам «заглянуть» в недра земли, недоступные пока непосредственному изучению. Зная, как происходят землетрясения в поверхностных слоях, мы можем, хотя

и менее уверенно, распространять эти данные на глубины в сотни километров — те глубины, на которых в некоторых районах еще возникают подземные удары.

Землетрясение — сложное и чрезвычайно интересное природное явление. Изучение его возможно лишь сочетанием методов разных наук, в первую очередь сейсмологии и геологии. И если читатель, не специалист в вопросах этих наук, после прочтения настоящего популярного очерка заинтересуется ими и захочет узнать о них больше, то цель данной работы будет достигнута. А такому читателю можно сказать, что его ждет много интересного и нового.

Советы лектору

В лекции о землетрясениях необходимо дать ясное представление о связи землетрясений с тектоническими движениями. Некоторые лекторы делают основной упор на изложение данных о распространении сейсмических волн, регистрации их на сейсмических станциях сейсмографами, описанию последних и т. д. Вряд ли такой подход может быть признан правильным, особенно, если лекция читается слушателям, не имеющим специальной математической подготовки. Наоборот, когда рассказ ведется так, что слушатель больше всего получает сведений о том, как и в результате каких причин возникают землетрясения, это запоминается значительно лучше, и слушатель начинает понимать, что землетрясения представляют собой одно из обычных, одно из естественных проявлений тектонического процесса. Разумеется, следует подчеркивать, что подавляющее большинство землетрясений являются слабыми и не опасными для людей.

Полезно коснуться вопроса о том, что изучение землетрясений позволяет ученым лучше понять строение земного шара и процессов, происходящих на таких глубинах, которые совершенно недоступны и, вероятно, еще долго останутся недоступными для исследования какими-либо другими методами, кроме сейсмологических.

Необходимо уделить внимание вопросам сейсмостойкого строительства, составлению карт сейсмического районирования и исследованиям по предсказанию места возникновения землетрясения, подчеркнув, что во всех этих отношениях СССР идет впереди других стран. Антисейсмическое строительство в нашей стране регулируется законом.

Лекция должна иллюстрироваться картами, чертежами, диапозитивами, кинофильмами.

Консультации можно получить в Институте физики Земли Академии наук СССР — Москва, Большая Грузинская улица, д. 10.

ЛИТЕРАТУРА

- Белоусов В. В.** Силы, меняющие лик Земли. М., Госгеолиздат, 1952.
Большая Советская Энциклопедия, 2-е изд., т. 16, М., 1952 (см. статью «Землетрясение»).
- Бончковский В. Ф.** Землетрясения, их причины, изучение и способы борьбы с их последствиями, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1949.
- Горшков Г. П.** Землетрясения на территории Советского Союза, М., Госизд-во геогр. литературы, 1949.
- Горшков Г. П.** Землетрясения и причины их возникновения, М., «Знание», 1955 (Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний).
- Магницкий В. А.** Основы физики Земли, М., Геодезиздат, 1953.
- Обручев В. А.** Основы геологии. Популярное изложение, М., Изд-во АН СССР, 1956.
- Павлов А. П.** Природа землетрясений и землетрясения в Японии, М., 1924.
- Павлов А. П.** Избранные сочинения, кн. I — «Вулканы, землетрясения, моря и реки», М., 1948.
- Петрушевский Б. А.** Значение геологических явлений при сейсмическом районировании, М., Изд-во АН СССР, 1955 (Труды Геофизического ин-та Академии наук СССР, № 28).
- Саваренский Е. Ф., Тищенко В. Г., Святловский А. Е., Добровольский А. Д., Живаго А. В.** Цунами 4—5 ноября 1952 г., «Бюллетень Совета по сейсмологии Академии наук СССР», 1958, № 4.
- Солоненко В. П., Флоренсов Н. А.** По следам землетрясений в Гоби, «Природа», 1960, № 2.
-

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение	3
Типы землетрясений	5
Движения земной коры	7
Разломы и землетрясения	11
Распространение сотрясений при землетрясениях	13
География и геология сейсмических зон	16
Глубокие землетрясения	20
Землетрясения под дном моря	22
Следы землетрясения на земной поверхности	28
Сила и энергия землетрясений	31
Регистрация землетрясений	34
Борьба с разрушительными последствиями землетрясений	38
Определение места возможных в будущем землетрясений	39
Карты сейсмического районирования	41
О предсказании времени возникновения землетрясений	43
Заключение	44
Советы лектору	46
Литература	47



Автор
Борис Абрамович Петрушевский

Редактор **З. А. Сумник**
Техн. редактор **Л. Е. Атрощенко**
Корректор **Е. Э. Ковалевская**
Обложка художника **А. П. Кузнецова**

А 02748. Подписано к печати 18.II.1961 г. Тираж 22 500 экз. Изд. № 24.
Бумага 60×92¹/₁₆—1,5 бум. л.=3,0 печ. л. Учетно-изд. 2,86 л. Заказ 425.
Цена 9 коп.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая площадь, д. 3/4.

ДОРОГИЕ ТОВАРИЩИ!

По призыву нашей партии в нашей стране ширится поход за культуру, за знания. Как подлинное детище народа родились и работают по всей стране народные университеты культуры.

Учитывая потребность слушателей в научно-популярной и учебной литературе, издательство «Знание» приступило в 1961 году к изданию новой массовой серии «Народный университет культуры», предназначенной для одногодичных народных университетов культуры, а также для широкого круга читателей, занимающихся самообразованием.

Книжки серии «Народный университет» будут давать краткое изложение основ наук с учетом их современных достижений и практического использования в общественном производстве.

Серия издается по следующим пяти факультетам:

	Количество брошюр в год	Подписная цена на год
Общественно-политический	20	1 р. 20 к.
Естественнонаучный	30	1 » 80 »
Технико-экономический	20	1 » 20 »
Сельскохозяйственный	20	1 » 20 »
Литературы и искусства	30	1 » 80 »

Тематика каждого факультета объявлена в тематическом плане Издательства, имеющемся в отделениях «Союзпечати» и в книжных магазинах «Союзкниги».

Подписывайтесь на новую серию „Народный университет культуры“

Подписка принимается всеми городскими и районными отделениями „Союзпечати“, конторами, отделениями и агентствами связи, почтальонами, а также общественными уполномоченными по подписке на фабриках, заводах, в колхозах, совхозах, учебных заведениях и учреждениях.

*Издательство «Знание»
Всесоюзного общества по распространению
политических и научных знаний*