

**ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ**

**КАНДИДАТ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК
Е. Ф. САВАРЕНСКИЙ**

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, ИХ ПРИЧИНЫ И ИЗУЧЕНИЕ

**Стенограмма публичной лекции,
прочитанной в Центральной лектории
Общества в Москве**

•

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ПРАВДА“

МОСКВА

1949 г.

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

Кандидат физико-математических наук
Е. Ф. САВАРЕНСКИЙ

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, ИХ ПРИЧИНЫ И ИЗУЧЕНИЕ

Стенограмма публичной лекции,
прочитанной в Центральном
лектории Общества в Москве

Редактор — доктор геолого-минералогических наук **Г. П. ГОРШКОВ.**

А 03306.

Тираж — 60.000 экз.

Заказ 3057

Типография газеты «Правда» имени Сталина. Москва, ул. «Правды», 24.

Землетрясение — грозное явление природы. В древности оно повергало людей в страх перед «гневом божьим», который считали причиной землетрясения. Только с развитием наук, главным образом физики и геологии, удалось приоткрыть завесу над теми процессами, которые связаны с возникновением землетрясений.

Почти двести лет назад, ещё задолго до создания науки о землетрясениях — сейсмологии, — замечательный русский учёный М. В. Ломоносов указывал, что землетрясение есть следствие процессов, происходящих внутри Земли, связанных с формированием её недр и изменениями в глубинных горных породах. Теперь доказано, что землетрясения действительно являются неотъемлемой частью тех процессов, которые непрерывно протекают в недрах Земли. Ежегодно происходят десятки тысяч землетрясений, а в среднем каждые три дня бывают землетрясения разрушительной силы.

О грозной силе землетрясений можно судить по описаниям некоторых из них.

* * *

Лиссабонское землетрясение. 1 ноября 1755 года произошло сильнейшее из европейских землетрясений. Оно состояло из трёх толчков, из которых первый был самым сильным. Наибольшие разрушения наблюдались в Португалии, особенно в Лиссабоне, хотя самое землетрясение произошло под дном Атлантического океана на расстоянии нескольких десятков километров от Лиссабона. Почти мгновенно была разрушена большая часть города, а то, что уцелело, уничтожил пожар, вспыхнувший вследствие того, что развалились печи.

В результате из 200—250 тысяч жителей города около 50 тысяч было убито. Около 15 тысяч (из общего числа 20 тысяч) домов оказались разрушенными или сильно повреждёнными. Разрушения и жертвы имели место на расстоянии сотен километров, например, в Марокко и в Испании. Наблюдались некоторые повреждения даже на расстоянии тысячи километров.

Быстрое изменение морского дна в том месте, где возникло землетрясение, породило огромные морские волны. На лиссабонский берег обрушилась волна около 30 метров высотой. Она проникла далеко на берег и смыла всё, что встретила на своём пути. Каменные блоки до 10 тонн весом оказались перемещёнными на десятки метров. Морские волны были настолько интенсивны, что

они причинили ущерб берегам Англии, Франции и Германии. Значительные волны были отмечены в Центральной Америке, на расстоянии более 2 тысяч километров, куда они прибыли со скоростью около 200 метров в секунду.

Японское землетрясение (Мино-Овари). Утром 28 октября 1891 года произошло очень сильное землетрясение, замечательное тем, что оно было связано со сдвигом почвы на протяжении 100 километров вдоль линии разлома, идущей через центральный японский остров. Эта линия простирается от Тихого океана из провинции Овари в северо-западном направлении через провинцию Мино, направляясь к берегу Японского моря.

Относительное горизонтальное смещение вдоль этой линии разлома доходило до 4 метров. Относительное смещение по вертикали местами достигало 7 метров. В некоторых местах наблюдалось поднятие, в других — опускание.

Индийское (Ассамское) землетрясение. К северу от Бенгальского залива и Калькутты, в провинции Ассам, 12 июня 1897 года произошло сильнейшее землетрясение. Вызванные им разрушения покрывали территорию в 350 тысяч квадратных километров. На площади в 75 тысяч квадратных километров были разрушены все каменные дома. Трещины в грунте замечены были на территории около 750 километров в поперечнике. Амплитуда колебания почвы достигала 30 сантиметров. Наблюдалось подобие морских волн на поверхности рыхлой почвы — «земляные волны». Местами образовывались фонтаны песка и мелких камней, некоторые здания оказались погружёнными в мягкий грунт до крыш. Реки меняли течение, образовывались водопады. Это землетрясение сопровождалось сбросами со смещением до 12 метров по вертикали. В момент землетрясения был слышен сильнейший рёв, который происходил от тысяч внезапно образующихся трещин.

По размерам потрясённой территории это землетрясение превосходит все известные нам катастрофы. После него было отмечено более 5 тысяч повторных толчков постепенно ослабевающей силы.

Калифорнийское землетрясение. 18 апреля 1906 года произошло сильное землетрясение, причинившее значительные разрушения городу Сан-Франциско и соседним городам. В Калифорнии имеется целая система линий разлома земной коры, которая вытянута вдоль горных хребтов, следующих параллельно тихоокеанскому побережью. Землетрясение было связано с горизонтальным смещением — сдвигом вдоль одной из наиболее заметных линий разлома (Сан-Андреас). Относительные смещения вдоль этой линии достигали местами 7 метров, а длина «ожившего» разлома была равна 500 километрам. Смещение с западной, тихоокеанской, стороны было северо-западное, как и в предыдущем, весьма похожем землетрясении Мино-Овари.

Землетрясение ощущалось на площади около 1 миллиона квадратных километров. Разрушения быстро ослабевали по мере уда-

ления от линии разлома в стороны и на расстоянии около 50 километров почти не наблюдались. Главным образом пострадал Сан-Франциско, который после землетрясения был объят огромным пожаром. Убытки исчислялись сотнями миллионов долларов.

Мессинское землетрясение. Это землетрясение произошло 28 декабря 1908 года в Мессинском проливе, между Сицилией и Калабрией. Число жертв, по минимальному подсчёту, составляло более 40 тысяч человек.

Сильные разрушения, в особенности в Мессине и Реджио, произошли из-за того, что большинство сооружений было расположено на рыхлом грунте. Отрицательную роль сыграли также плохие конструкции и качество самих построек.

Резких изменений на земной поверхности не наблюдалось, за исключением опускания набережной в Мессине. В проливе образовались большие морские волны, которые также причинили значительный ущерб прибрежным городам и селениям. Волны обрушились на оба берега пролива через 5—15 минут после землетрясения. В некоторых местах высота волны достигала 12 метров.

Интересно отметить, что во время этого землетрясения знаменитые итальянские вулканы не проявляли какой-либо особой деятельности.

Китайское землетрясение. 16 декабря 1920 года произошло очень сильное землетрясение, причинившее особенно тяжёлые бедствия провинциям Ганьсу (Кан Су) и Шаньси. Пострадавшая местность покрыта мощной толщей песчанистого грунта, в котором реки образуют глубокие долины. По берегам рек располагаются селения. От сильного сотрясения грунт стал «течь», образуя многочисленные оползни, чем особенно характерно это землетрясение. Под оползнями и обвалами оказались погребёнными многие селения. Поэтому было особенно много жертв — свыше 100 тысяч человек. Разрушения наблюдались на пространстве свыше тысячи километров в поперечнике.

Великое японское землетрясение. Это землетрясение является хотя и не самым сильным, но выдающимся по своим последствиям, ибо в результате него было разрушено два огромных города — столица Японии Токио и её крупнейший порт Иокогама. Землетрясение произошло 1 сентября 1923 года, в 12 часов дня. Очаг находился под дном залива Сагами, на расстоянии около 80 километров к югу от Токио. Огромные разрушения произошли как от самого землетрясения, так и от пожара, который последовал за ним. Из-за сильного ветра переменного направления, а также из-за порчи водопровода, разрыва газовых труб и коротких замыканий электросети пожар очень быстро распространился. Кроме того огромные разрушения причинила гигантская морская волна, до 12 метров высотой, образовавшаяся в заливе Сагами.

В Токио до наступления темноты, когда пожары ещё бушевали и разрастались, лишилось крова более 1 миллиона человек.

Гавань Иокогама полыхала от разлитого на воду толстого слоя бензина. Столбы пламени достигали 50—60 метров.

В результате этого землетрясения погибло 143 тысячи человек. Было разрушено свыше полумиллиона сооружений: убытки исчислялись в 2,5 миллиарда долларов. При этом землетрясении особенно хорошо было заметно влияние на разрушение сооружений грунта. Исследования показали, что сейсмический эффект на наносных, рыхлых песчаных грунтах оказался сильнее, чем на плотном грунте.

После землетрясения было обнаружено, что дно бухты Сагами в том месте, где произошло землетрясение, испытало очень большие деформации. Промеры дна показали, что к северу, ближе к берегу, дно поднялось местами на 200 метров, а к югу опустилось на 100 метров. Понятно, что при таком процессе произошло почти мгновенное изменение объёма залива Сагами и благодаря этому образовалась гигантская морская волна. В прибрежной части также отмечались смещения почвы до 1,5 метра по вертикали и 4 метров по горизонтали.

Мы остановились подробно на семи особо сильных землетрясениях, каждое из которых имело свои интересные особенности.

Следует отметить ещё четыре очень сильных землетрясения.

При землетрясении 3 февраля 1931 года на северном острове Новой Зеландии, в районе города Нейпира, помимо сильнейших разрушений в городах Нейпире и Гастингсе, наблюдались изменения глубины залива на несколько метров. После землетрясения гавань пришлось углублять.

Землетрясением 30 мая 1935 года в Индии почти полностью были разрушены города Кветта и Кулат. Число убитых превышало 40 тысяч человек.

Землетрясение 27 ноября 1943 года в Турции, к юго-востоку от Анкары, также было очень сильным, хотя носило местный характер. Было разрушено свыше 10 тысяч домов и погибло более 7 тысяч человек.

Землетрясение 1 апреля 1946 года, происшедшее в районе Алеутских островов, недалеко от берегов Аляски, вызвало огромные морские волны, которые причинили большие разрушения Гавайским островам и Калифорнии и отмечались во всём тихоокеанском бассейне.

К счастью, в нашей стране не наблюдается таких чудовищных катастроф, как японское землетрясение, тем не менее наши южные, юго-восточные и дальневосточные окраины изобилуют землетрясениями.

Из сильных, разрушительных землетрясений, произошедших в нашей стране, следует упомянуть землетрясения 1887 и 1911 годов, происшедшие в северной части гор Тянь-Шаня, к северу от озера Иссык-Куль; землетрясения 1911 и 1941 годов на Северном Памире; землетрясения 1902, 1927, 1946 годов в горах Центральной части Средней Азии; землетрясения 1902 и 1931 годов в горах

Закавказья; землетрясение 1927 года в Крыму; землетрясения, происшедшие в 1802 и 1940 годах в Карпатах и ощущавшиеся в Москве.

Наконец, сильные землетрясения наблюдались в 1895 и 1929 годах вблизи южной окраины Туркмении, в горах Копет-Дага.

Всем известно, что в ночь с 5 на 6 октября 1948 года произошло сильнейшее землетрясение, в результате которого пострадал Ашхабад. Сильные разрушения наблюдались в самом городе и его окрестностях. Многие здания оказались совершенно разрушенными, но сооружения, при возведении которых были проведены специальные сейсмостойкие мероприятия, пострадали меньше.

Силу этого землетрясения следует оценить в 9, а в некоторых местах и в 10 баллов.

Жители Ашхабада сразу почувствовали заботу и помощь со стороны правительства СССР и соседних с Туркменией республик. В Ашхабад было тотчас отправлено много медикаментов, палаток для жилья, стройматериалов, одежды и продовольствия. Пострадавшим была немедленно оказана медицинская помощь; многочисленные самолёты привозили медперсонал и эвакуировали раненых.

Для сравнения землетрясений и оценки их силы разработана двенадцатибалльная шкала. Оценка силы сотрясения в баллах основывается главным образом на тех разрушениях зданий, нарушениях грунта и других явлениях, которые наблюдаются при землетрясении.

Сотрясения силой до 5 баллов ощущаются в виде дрожания. Наблюдается качание висячих предметов. При силе сотрясения от 5 до 7 баллов землетрясение обычно не сопровождается заметными разрушениями. Сотрясения от 7 до 9 баллов сопровождаются разрушениями ветхих и недоброкачественных построек. У зданий современной конструкции при 7 и 8 баллах наблюдаются лишь небольшие повреждения, главным образом трещины. После 9 баллов разрушаются в той или иной степени почти все сооружения. Наблюдаются изменения и трещины в почве. При 12 баллах наблюдаются сильные изменения рельефа земной поверхности, от которых даже большие реки меняют русло, и полное разрушение сооружений.

Шкала для определения силы землетрясения (сокращённый текст)

1 балл. Не ощущается, отмечается только приборами.

2 балла. Очень слабое. Ощущается в исключительных случаях, особенно в верхних этажах при полном покое и далеко не всеми.

3 балла. Слабое. В густонаселённой местности ощущается немногими в форме сотрясения от проехавшего экипажа.

4 балла. Умеренное. Вне зданий ощущается немногими. Внутри зданий ощущается большинством. Наблюдаются скрип полов, балок, звон посуды, дрожание мебели. Напоминает сотрясение от грузовика, едущего по тряской мостовой.

5 баллов. Довольно сильное. Ощущается многими вне зданий. Раскачиваются слабые ветви деревьев и растения. Внутри зданий напоминает толчки от падения тяжёлых предметов. Двери хлопают. Отдельные стёкла в окнах лопаются. Качаются висячие предметы, мебель. Выплёскивается вода из наполненных сосудов. Стенные часы останавливаются.

6 баллов. Сильное. Ощущается всеми. Разбивается посуда, падают книги с полок. Однако разрушения могут быть только у очень плохих построек. Обычно наблюдаются только трещины в штукатурке. Звон небольших колоколов.

7 баллов. Очень сильное. Значительные повреждения плохо построенных и ветхих домов. В современных зданиях наблюдаются небольшие трещины, осыпаются штукатурка и лепные украшения. Падают повреждённые ранее трубы и отдельные кровельные черепицы. Изменяется уровень воды в колодцах. В реках и озёрах заметно колебание и помутнение воды. Иногда наблюдаются оползни и осыпи.

8 баллов. Разрушительное. Сдвигаются с места и падают многие памятники и монументы. Сильно раскачиваются деревья, часть из них ломается. Разваливаются прочные каменные ограды и некоторые фабричные трубы. Здания прочной современной постройки дают трещины и частично терпят разрушения. Падает большинство дымовых труб. В грунте наблюдаются трещины.

9 баллов. Опустошительное. Наблюдаются повреждения в специальных сейсмостойких постройках. Некоторые хорошие конструкции не разрушаются, но наклоняются, сдвигаются с фундамента. В обыкновенных домах разрушения весьма велики. Наблюдаются трещины в грунте.

10 баллов. Уничтожающее. Хорошо построенные деревянные дома и мосты разрушаются. Деформации в грунте. Разрушаются здания и их фундаменты. Разрывы водопроводных, канализационных и прочих магистралей. Повреждение насыпей, плотин, дамб. Искривления железнодорожных путей. Оползни и обвалы. Выплёскивание воды из рек и озёр.

11 баллов. Катастрофа. Почти все каменные постройки разваливаются. Сильное разрушение мостов с искривлением ферм. Наблюдаются разрывы и на значительном протяжении у плотин, дорог, насыпей, сильная деформация рельсов. Образуются сильные изменения ландшафта. Широкие трещины со сдвигами в вертикальном и горизонтальном направлениях.

12 баллов. Сильная катастрофа. Тяжёлое разрушение всех сооружений. Изменения русла рек. Образование водопадов. Сильные изменения рельефа местности. Видны волны на поверхности грунта. Подбрасывание отдельных предметов.

Географическое распределение и причины землетрясений

Из описания некоторых землетрясений мы видели, что все они приурочены к областям с резким изменением рельефа, к гористым

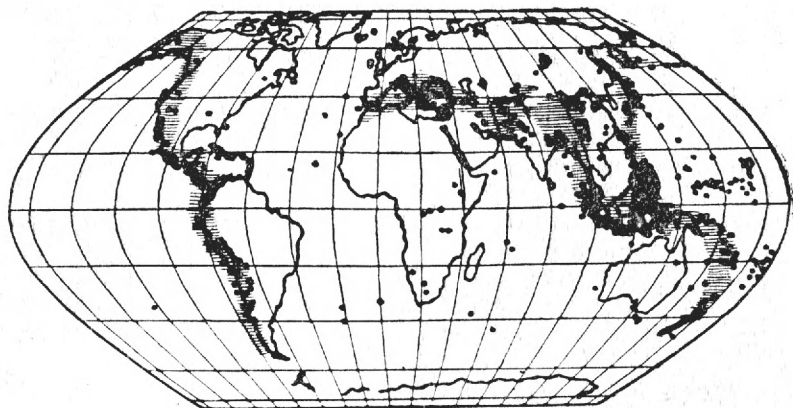


Рис. 1. Эпицентры наиболее сильных землетрясений и расположение областей современного горообразования (зоны альпийской складчатости).

областям, к различным разломам и сдвигам в земной коре. Эта связь станет очевидна, если мы рассмотрим географическое распределение землетрясений и горных систем (рис. 1).

Наблюдения показывают, что распределение землетрясений на земном шаре неравномерно. На обширных пространствах землетрясения не наблюдаются. Зато разделяющие эти территории полосы и пояса изобилуют землетрясениями. Сейсмические зоны земного шара делятся на:

1. Тихоокеанский пояс сейсмичности, включающий 80% от общего числа и большинство катастрофических землетрясений;
2. Средиземноморскую и Азиатскую полосы, содержащие много разрушительных землетрясений;
3. Второстепенные пояса сейсмичности:
 - а) Арктический — Атлантический пояс,
 - б) пояс западной части Индийского океана,
 - в) пояс восточно-африканских грабенов (провалов).

Тихоокеанский пояс начинается у восточных берегов Камчатки, затем тянется через Алеутские острова к Аляске. Здесь сейсмичность весьма высока. Землетрясения часты и бывают катастрофическими. Далее пояс следует к Центральной Мексике. Здесь сейсмичность низка, за исключением калифорнийского звена.

В Центральной Америке от пояса ответвляется Караибская, или Антильская, петля. Затем пояс простирается вдоль Тихоокеанского побережья Южной Америки и заканчивается Южно-Антильской петлей, идущей с южной оконечности Америки через Фолклендские острова и остров Южная Георгия.

С другой стороны Тихоокеанский пояс следует вдоль Курильских, а затем Японских островов. В Центральной Японии он разделяется на западную и восточную ветви. Западная следует через острова Рю-Кю, Формозу, Филиппины. Восточная простирается на

юг к Марианским островам. Западная ветвь от Филиппин направляется к Молуккским островам, затем огибает море Банда, следует через Зондские на Никобарские и Андаманские острова. Возможно соединение пояса с азиатской зоной через Бирму.

Восточная ветвь следует через остров Гуам, а затем идёт на восток до острова Яп. Далее она резко поворачивает на юго-восток и следует между островами Самоа и Тонга, через Новую Зеландию и южнее островов Мак-Куари поворачивает, образуя петлю. Южное звено этой петли направляется на восток.

Азиатская зона начинается очень широкой полосой, южная часть которой падает на Бирму и идёт вдоль её горных дуг. Направляясь к Памиру, зона сужается, а затем вновь расширяется и захватывает Белуджистан и Иран; затем она несколько сужается и через Кавказ и Малую Азию входит в средиземноморскую часть. Границей зоны служат южные горные хребты Малой Азии. На северо-востоке верхний край Азиатской зоны, возможно, связан через устье Лены с Арктическим поясом. В Европе эта зона, изгибаясь у островов Кипр, Крит, проходит через Эгейское море и следует по Балканам. Альпы мало сейсмичны, Карпаты — также, хотя имеется интересный румынский узел, где неоднократно происходили очень сильные землетрясения.

Затем следует отметить Апеннинское ответвление этой зоны. Пиренейский полуостров мало сейсмичен, хотя редкие землетрясения наблюдаются вплоть до Азорских островов.

Арктический — Атлантический пояс начинается сравнительно редкими землетрясениями в устье Лены. Затем он следует через Шпицберген, остров Ян-Майен и Исландию. Далее начинается атлантическая часть, идущая по Атлантической подводной гряде. Наибольшая сейсмичность наблюдается на повороте гряды у экватора. Далее пояс следует на юг и теряется у островов Тристан да Кунья.

Пояс Индийского океана начинается на юге Аравии, затем он идёт по поднятию дна океана, которое разделяет его на две части, направляясь на юг к Антарктиде (от Маскаренских островов до Кэргуэленской гряды). Возможно, этот пояс через Южно-антильскую петлю соединяется с Тихоокеанским поясом.

Вдоль восточного берега Африки следует внутриконтинентальный пояс, связанный с восточноафриканскими провалами.

Если обратиться теперь к географическому расположению основных горных хребтов и глубочайших океанических впадин, окаймляющих западное побережье Тихого океана, тогда станет ясной непосредственная связь их с землетрясениями. Мы опускаем из рассмотрения вулканические землетрясения, обычно связанные с выбросами газа и лавы из кратера вулкана, а также провальные землетрясения, вызываемые обрушением пустот, образуемых подземными водами. Эти землетрясения обычно слабы, носят ограниченный, местный характер и сравнительно редки.

Установив территориальную связь между землетрясениями и гористыми зонами, мы должны перейти к анализу причин и процессов, вызывающих и сопровождающих землетрясения.

Кора Земли, составляющая первые 30—50 километров, а также, повидимому, и более глубокие части Земли не являются неподвижными, как мы привыкли думать: земная поверхность и недра постоянно изменяются и деформируются.

Различные участки земной коры на протяжении геологических эпох испытывали и испытывают поднятия и опускания, разрывы, смятия в складки.

Из геологии известно, что такие перемещения происходили неравномерно. Скорость поднятий и опусканий сильно варьировала от одной геологической эпохи к другой. Земная кора на некоторых обширных территориях испытывала значительные нарушения, складки и разломы, затем эти процессы переходили на другие участки земной коры, а горы в нарушенных зонах разрушались. Кора покрывалась мощными толщами более молодых, ненарушенных горизонтальных слоёв. В таком положении в настоящее геологическое время находится Русская платформа, в средней части которой расположена Москва.

Таким образом, обширные территории в отдельные геологические эпохи оставались сравнительно мало подвижными монолитами — платформами, или щитами, другие территории — складчатые зоны — проявляли, напротив, отсутствие монолитности, терпели смятия в складки, нарушения, сдвиги, сбросы и трещины, которые уменьшали прочность земной коры.

Области горных хребтов и впадин, территориально совпадающие с поясами землетрясений, находятся в настоящее время в процессе формирования. Эти области называются зонами альпийской складчатости (см. рис. 1).

Причинами постоянных деформаций, приводящих к сжатиям и напряжённому состоянию горных пород, являются главным образом внутренние процессы, протекающие глубоко в недрах Земли. Сюда относятся вариации температуры, переход вещества из одного состояния в другое, сопровождающийся изменением объёма, радиоактивный распад, изменения давления и другие физико-химические процессы. Внешними силами, влияющими на состояние земной коры, являются приливообразующие силы, перераспределение нагрузки вследствие разрушения гор и заполнения впадин продуктами их разрушения, а также, хотя и в слабой степени, изменение барометрического давления и выпадающие осадки. Как теперь доказано с особой очевидностью советскими учёными, изменения давления и ветер приводят земную кору в очень слабое колебательное движение, которое, однако, постоянно регистрируют сейсмические станции.

Таким образом, мы приходим к тому, что горообразование, выражающееся в изгибах пластов и в других деформациях, даже на значительной глубине, где вследствие давящих сверху горных

пород пласты способны к более значительным деформациям и изгибам без разрыва, всё же вызывает напряжения, которые в конце концов превосходят предел прочности, и поэтому происходит разрыв или внезапное смещение отдельных частей. Эти явления и сопровождаются землетрясениями.

Горообразовательные движения, с которыми связаны землетрясения, являются продолжением происходивших раньше движений, создавших горные хребты. Современные деформации и движения происходят в неоднородных, смятых, местами разломанных и нарушенных породах. По этой причине возникающие в горных породах напряжения распределяются неравномерно. Разрешение этих напряжений в разрывах и землетрясениях определяется той структурой, которую приняли эти горные пласты в предыдущей стадии процесса горообразования. При наличии уже бывших разрывов и перемещений по ним горных пород повторные разрывы происходят главным образом по старым разломам. Это обстоятельство подтверждается тем, что землетрясения в определённых местах повторяются. Почти каждое сильнейшее землетрясение сопровождается целой серией более слабых землетрясений. При этом как сила, так и частота их быстро убывают с течением времени; иногда такие повторные толчки насчитываются тысячами на протяжении нескольких месяцев или лет.

Помимо прочности пород в образовании внезапных смещений, сопровождающихся землетрясением, большую роль играют силы трения на поверхности разлома или разрыва пород; когда медленно нарастающие усилия превосходят силу трения, тогда происходит соскальзывание, вызывающее землетрясение.

Однако одновременное соскальзывание по всей поверхности разлома мало вероятно, хотя бы потому, что поверхности не

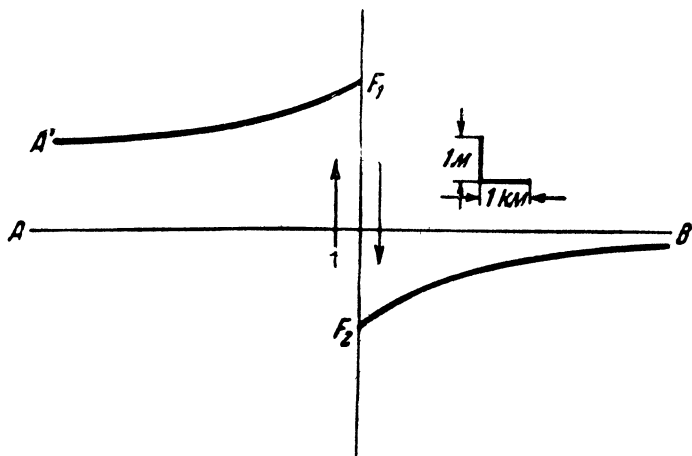


Рис. 2. F_1 F_2 — часть линии разлома (пересечение поверхности разлома земной коры с поверхностью Земли), вдоль которой наблюдался наибольший сдвиг почвы во время Калифорнийского землетрясения 1906 года.

идеально однородны. Такие процессы удалось с особенной наглядностью наблюдать во время упомянутого Калифорнийского землетрясения. До этого землетрясения и после него проводились геодезические съёмки, которые показали, что прямые линии, проведённые на местности до момента землетрясения, после него приобрели вид изогнутых полос и кроме того оказались разорванными (AF_1F_2B , рис. 2). Всё это можно пояснить на следующем примере.

Представим себе среду в виде двух рядов упругих параллельных стержней, прижатых друг к другу торцами по некоторой поверхности. Нарастающие силы, действующие вдоль поверхности, изгибают стержни. Представим себе, что у одной пары стержней сила трения, действующая на торцах, оказалась недостаточной. В этом месте появится срыв; распространяясь дальше, он будет создавать дополнительные напряжения и может явиться причиной, «вспарывающей» всю поверхность соприкосновения стержней модели. Сейсмические наблюдения подтверждают, что такое соскальзывание происходит не сразу во всех точках поверхности, а распространяется по ней с определённой скоростью.

Однако наблюдаются землетрясения и другого типа.

Двадцать лет тому назад было доказано, что очаги землетрясений иногда залегают на глубинах до 700 километров. Непосредственные процессы, вызывающие такие землетрясения, конечно, много сложнее, однако и в этом случае очаги землетрясений приурочиваются к определённой поверхности. В Тихом океане, у берегов Японии и в Южной Америке эти поверхности простираются наклонно вглубь в сторону континента, выходя на поверхность Земли на дне глубочайших океанических впадин, изобилующих неглубокими землетрясениями. При этом, как показывают сейсмические наблюдения, в большинстве случаев наблюдается опускание дна

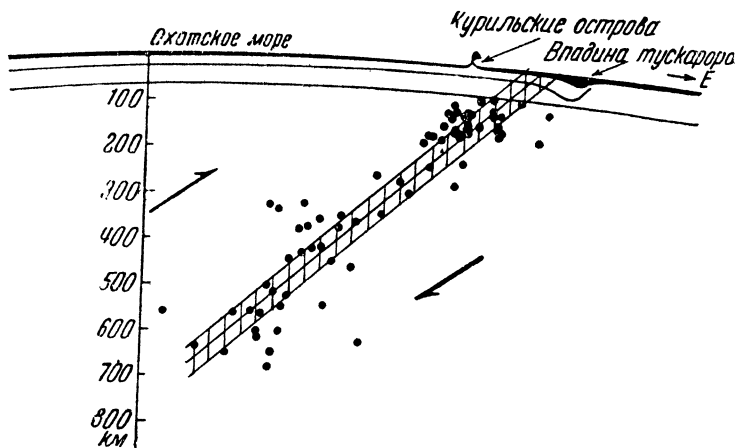


Рис. 3. Разрез Земли в районе Курильских островов, показывающий расположение очагов (кружки) глубоких землетрясений этого района (по А. Н. Заварицкому).

Тихого океана и поднятие континента (рис. 3). Интересно отметить, что глубокие очаги землетрясений с глубиной более 300 километров наблюдаются только в Тихоокеанском поясе землетрясений. В Средиземноморском и Азиатском поясах наблюдаются только очаги с глубинами до 300 километров. Такие глубокие землетрясения известны под хребтом Гиндукуш в Средней Азии, под Карпатами и в некоторых других отдельных пунктах. Факт наличия очагов землетрясений на значительных глубинах имеет большое принципиальное значение. Он опрокинул схоластическое противопоставление неоднородной земной коры однородной подкоровой магме.

Достижения физики за последние десятилетия позволяют исследовать процессы в зонах Альпийской складчатости не только по геологическим признакам прошлого, но и по деформациям в настоящее время.

Геодезические съёмки высокой точности, о которых упоминалось, повторные нивелировки, наблюдения над наклонами земной поверхности и другие высокоточные современные измерения позволяют выявить линии разломов, в которых проявляются особо активные деформации, связанные с землетрясениями. Такие работы представляют огромный научный и практический интерес, так как, с одной стороны, помогают нам в изучении процессов, связанных с землетрясениями, а с другой стороны, указывают особо опасные для сооружений участки земной поверхности.

Современные методы позволяют непрерывно регистрировать такие малые наклоны земной поверхности, которые получаются при опускании одного конца линии длиной в 1 километр всего лишь на $\frac{1}{20}$ миллиметра.

Непрерывные изменения наклонов вызываются разными причинами: вариацией температуры, выпадающими осадками, переменах в барометрическом давлении, лунно-солнечным притяжением. Однако, помимо этих причин, наклоны земной поверхности связаны и с деформациями земной коры, а тем самым и с землетрясениями. Исследования различных авторов, особенно советского учёного профессора В. Ф. Бончковского, показывают, что вблизи от места землетрясения наблюдаются резкие изменения, «бури наклонов», которые иногда предшествуют землетрясениям. Это позволяет думать, что непрерывные измерения наклонов, а также магнитного, электрического и теплового полей Земли и упругих коэффициентов горных пород, несомненно, приведут наших учёных к выработке методов предсказания землетрясений.

Работа сейсмических станций

Область внутри Земли, которая подвергается остаточным деформациям и разрушениям, называется очагом землетрясения. Как по размерам, так и по очертаниям очаги бывают самые разнообразные. Проекция очага на поверхности Земли называется э п и -

центром, или эпицентральной областью. Её форма в основном зависит от геологических факторов.

При сильных землетрясениях порода в области очага частично разрушается, но эти разрушения убывают по мере удаления от очага. На некотором расстоянии наблюдается только упругая деформация, т. е. частицы почвы испытывают лишь небольшие колебания относительно своего положения равновесия. Эти колебания в виде упругих волн распространяются во все стороны, проникая в глубь Земли.

Такие упругие волны бывают двух родов. Одни связаны лишь с изменениями объёма, сжатиями или разрежениями и называются продольными. Другие несут с собой лишь изменение формы. Они называются поперечными. Характер колебания частицы при прохождении таких волн можно уяснить из следующего примера. Если по торцу металлического стержня произвести удар, то возникнет уплотнение вещества. Это уплотнение будет распространяться в виде волны. Частицы будут колебаться вдоль стержня, т. е. вдоль хода волны (продольная волна). Если у такого стержня вызвать быстрое кручение его конца, то оно также побегит в виде волны вдоль стержня, при этом частицы будут колебаться перпендикулярно ходу волны (поперечные волны).

Продольные волны распространяются быстрее поперечных. Промежуток времени, на который продольные волны опережают поперечные, будет тем больше, чем больше расстояние от очага, или эпицентра, и этот интервал является основой при определении расстояния от места наблюдения (сейсмической станции) до эпицентра. Зная расстояния от нескольких станций до эпицентра, можно определить его географическое положение.

Русский учёный, академик Б. Б. Голицын (1862—1916) в 1909 году разработал способ определения направления проходящей волны. Этот способ основан на том, что отношение амплитуд колебания в самом начале записи продольных волн, зарегистрированных сейсмографами, ориентированными по меридиану и параллели, указывает то направление, в котором колеблются частицы в продольной волне, а тем самым и направление на эпицентр. Таким образом, благодаря этому способу можно определять географическое положение эпицентра по данным отдельной сейсмической станции. Распространяясь через земной шар, упругие волны отражаются как от внутренних границ раздела между породами, так и от земной поверхности снизу. Чем глубже залегает очаг землетрясения, тем больше разность времени между приходом волны, следующей непосредственно из очага, и волны, отражённой от земной поверхности снизу. Это обстоятельство является основой для определения глубины очага землетрясения.

Кроме упомянутых продольных и поперечных волн, по поверхности Земли распространяются так называемые поверхностные волны, несущие наиболее сильные колебания вдалеке от эпицентра.

Волны, приходящие непосредственно из очага землетрясения, а также отражённые и поверхностные, создают сложные колебания почвы.

По этой причине запись колебаний почвы на удалённой сейсмической станции продолжается длительное время, иногда несколько часов, несмотря на то, что в окрестности очага колебания почвы происходят на протяжении нескольких секунд.

Устройство сейсмографов — приборов, предназначенных для записи колебаний почвы, основано на известном из физики свойстве инерции и может быть пояснено следующим примером. Если поезд или трамвай трогается с места резко, то пассажиры вследствие инерции испытывают толчок, падают назад. Маятник, висящий в поезде или трамвае, будет сохранять в первый момент состояние покоя, хотя точка его прикрепления переместится и, следовательно, он будет отклонён от вертикального положения.

Если представить себе, что точка подвеса маятника испытывает вместе с почвой и всеми предметами смещение вследствие колебаний, вызванных землетрясениями, тогда станет ясным, что маятник может указать нам на наличие этих колебаний. В итоге можно сказать, что груз маятника является тем предметом, который сохраняет состояние (в первом приближении) покоя по отношению к колеблющейся почве. Собственные качания маятника, которые возникают при толчках, гасят специальным устройством.

Несмотря на простоту идеи сейсмографа, конструктивное его воплощение, конечно, много сложнее.

Оценкой инерции и тем самым способности воспроизводить колебания почвы является период собственных колебаний, маятника. Чем больше его собственный период колебаний, тем шире возможности для регистрации колебаний почвы.

Для регистрации колебаний почвы в горизонтальном направлении употребляют маятники с наклонной осью вращения. Это придаёт им больший период. Колебания почвы в вертикальном направлении отмечаются маятником с грузом, подвешенным на пружине.

В старых, малочувствительных сейсмографах запись колебаний почвы велась с помощью скреплённой с маятником иглы или пера, царапающего по закопчённой поверхности непрерывно движущейся бумаги. Затем перешли на более совершенный и точный способ регистрации, при котором роль пера играет луч света, отражённый от зеркальца, укреплённого на маятнике. Этот луч чертит кривую колебаний на движущейся фотобумаге. Фотобумага надевается на барабан, который вращается часовым механизмом. Чтобы полностью использовать всю поверхность фотобумаги, барабан снабжён винтовой осью, и линия записи колебаний почвы получается в виде непрерывной винтовой линии. После снятия фотобумаги проявленную запись (сейсмограмма) следует читать справа налево, с переходом от левого конца одной линии на правый конец линии, следующей ниже. Таким образом, сейсмограмма со-

стоит из ряда параллельных линий. Ранее указывалось, что для определения местоположения очага нужно знать интервалы времени между приходом различных волн. Поэтому на линии записи с помощью высокоточных часов каждую минуту делаются отметки — марки времени.

Значительным шагом вперёд в мировой сейсмологии явилось создание академиком Б. Б. Голицыным сейсмографов с гальванометрической регистрацией (рис. 4). В этих приборах с маятником (1) скреплена катушка (2), помещаемая в магнитном поле. При колебаниях почвы магниты движутся относительно катушки, и в последней возникает электрический ток. Этот ток поступает затем в гальванометр (3), катушка (4) которого в свою очередь на-

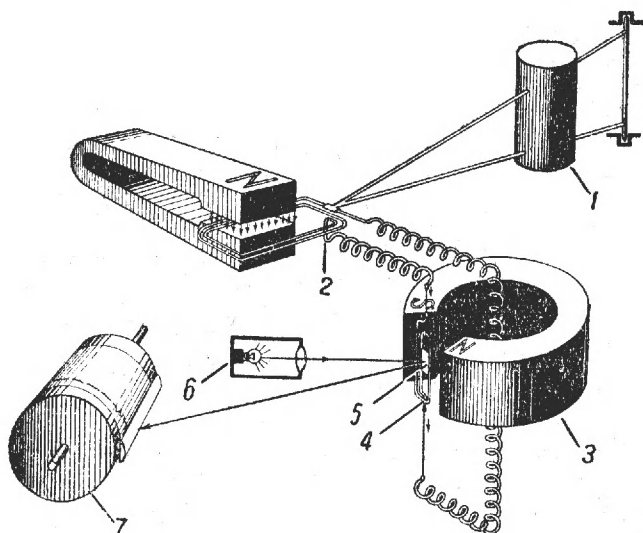


Рис. 4. Схема гальванометрического метода регистрации колебаний почвы: 1 — маятник сейсмографа; 2 — индукционная катушка; 3 — магнит зеркального гальванометра; 4 — катушка гальванометра; 5 — зеркальце, скреплённое с катушкой гальванометра; 6 — источник света; 7 — барабан регистрирующего аппарата.

ходит в магнитом поле и поворачивается в зависимости от силы тока. Катушка гальванометра снабжена зеркалом (5), позволяющим с помощью отражённого света (6 — источник света) вести запись её поворотов на движущейся фотобумаге (7). Выражаясь фигурально, сейсмограф в этом случае можно уподобить динамомашине, приводимой в действие колебаниями почвы, а гальванометр — мотору, работающему от тока этой динамомашинны.

Помимо целого ряда других преимуществ гальванометрический метод регистрации допускает почти неограниченные возможности для увеличения чувствительности при регистрации колебаний почвы. Наши первоклассные сейсмические станции отмечают колебания почвы с амплитудой менее одной тысячной миллиметра. Сейсмографы конструкции академика Б. Б. Голицына сразу получили всеобщее признание и были установлены на нескольких десятках лучших сейсмических станций мира.

Центральная сейсмическая станция «Москва» Геофизического института Академии наук СССР, оборудованная такими сейсмографами, ежегодно регистрирует более двухсот землетрясений. Эпицентры некоторых из них находятся почти в противоположных по отношению к ней пунктах земного шара: в Южной Америке, Новой Зеландии, Антарктике.

Сейсмическое районирование и сейсмостойкое строительство

После Великой Октябрьской социалистической революции, когда интерес к изучению нашей Родины и её производительных сил сильно возрос, когда строительство промышленных сооружений приобрело огромный размах, были учреждены региональные, местные сети сейсмических станций для изучения сейсмичности нашей страны. Сети станций были организованы в Крыму, на Кавказе и в Средней Азии. Сейсмические станции этих сетей были снабжены сейсмографами системы ученика Б. Б. Голицына — профессора П. М. Никифорова (1884—1944), своими работами значительно продвинувшего вперёд советскую сейсмологию. За последние годы у нас в стране созданы новые, ещё более совершенные сейсмографы, которые устанавливаются на старых и вновь открываемых станциях.

Практическое значение работы сейсмических станций, в частности наших станций, состоит в том, что на основе их наблюдений можно указать, в каких местах, сколь часто и какой силы бывают землетрясения (рис. 6). Такое сейсмическое районирование очень важно для народного хозяйства, ибо оно даёт возможность указать, где безопаснее возводить сооружения и какие строительные мероприятия требуются для того, чтобы эти сооружения противостояли разрушительной силе землетрясений. При силе землетрясения, не превышающей 6 баллов, никакие специальные строительные мероприятия не требуются. При землетрясениях в 7 и более баллов необходимо принятие мер предосторожности при возведении сооружений. Прежде всего должны строго соблюдаться обычные правила, обеспечивающие прочность постройки. Кроме этого следует выбирать участки с устойчивыми, плотными (лучше скальными) грунтами. Следует избегать рыхлых грунтов, оползней и крутых обрывов поблизости от сооружений. Основание фундамента должно быть горизонтальным, а фундамент и стены монолитными. Следует опасаться выступающих частей зданий. Крупные сооружения требуют ряда специальных

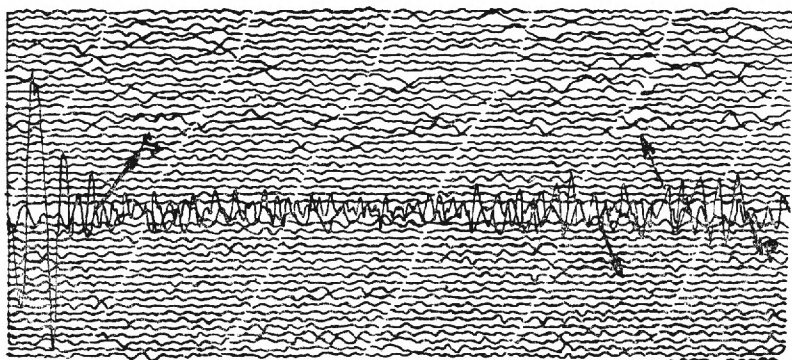
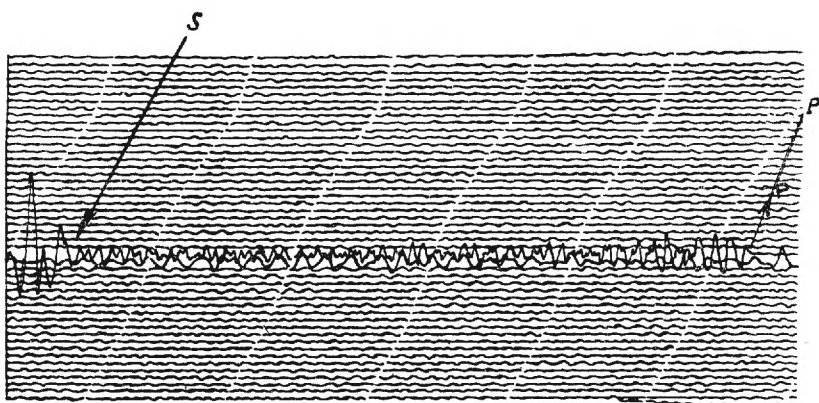
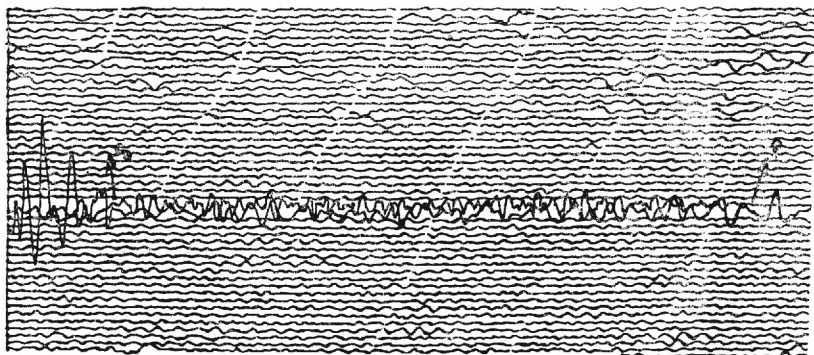


Рис. 5. Сейсмограмма землетрясения, зарегистрированного приборами системы акад. Б. Б. Голицына на центральной сейсмической станции «Москва». Эпицентр землетрясения находился на расстоянии 3000 км от Москвы. Р — вступление продольной волны; S — вступление поперечной волны (запись вертикального сейсмографа посередине; вверху и внизу — записи горизонтальных сейсмографов).

мероприятий (например, стягивание железобетонными поясами). Надо особенно опасаться тяжёлых мазанных крыш и стен, скреплённых слабым глиняным раствором.

На основании наблюдений над разрушениями при землетрясениях и по данным теории динамики сооружений составлены специальные нормы сейсмостойкого строительства. Эти нормы рекомендуются всем строительным организациям для руководства при строительстве в сейсмических районах.

Наблюдения сейсмических станций и изучение внутреннего строения Земли

Важной научной задачей, также решаемой на основе наблюдений сейсмических станций, является изучение внутреннего строения Земли.

Академик Б. Б. Голицын в своём всемирноизвестном руководстве по сейсмологии «Лекции по сейсмометрии» писал: «...Можно уподобить всякое землетрясение фонарю, который зажигается на короткое время и освещает нам внутренность Земли, позволяя тем самым рассмотреть то, что там происходит...»

Скорость распространения продольных и поперечных волн зависит от свойства вещества, через которое они распространяются. Чем сильнее породы сопротивляются быстрому изменению объёма и формы, тем больше скорость; чем больше плотность, тем меньше скорость распространения упругих волн.

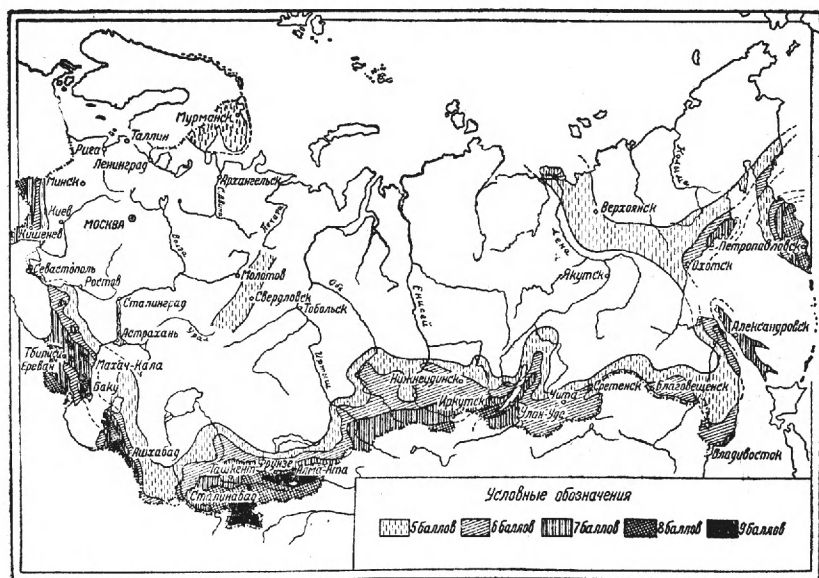


Рис. 6. Схема сейсмического районирования территории СССР (по Г. П. Горшкову).

Продольные волны наблюдаются в жидкостях и в газах в виде звуковых волн. Поперечные волны наблюдаются только в твёрдых телах.

Наблюдая время пробега упругих волн землетрясения на сейсмических станциях, удалось установить величину и характер изменения с глубиной скорости распространения волн. Оказалось, что скорость растёт с глубиной (рис. 7). Следовательно, упругие свойства твёрдого вещества Земли должны быть ещё более совершенны на больших глубинах. В противном случае плотность, как известно, растущая с глубиной, уменьшала бы скорость распространения упругих волн.

Надо отметить, что с глубиной возрастают давление и температура. На глубине нескольких сотен километров давление превос-

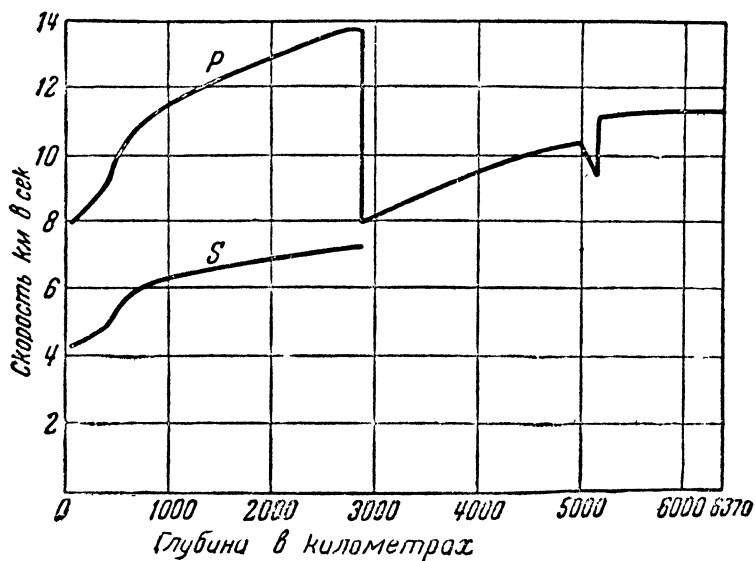


Рис. 7. Изменение скорости распространения продольных (P) и поперечных (S) волн с глубиной (от глубины 35 км до центра Земли — 6370 км).

ходит 100 тысяч атмосфер, и поэтому вещество на больших глубинах отличается по своим свойствам от поверхностных пород.

Интересно отметить, что над ядром Земли, т. е. на глубине 2900 километров, скорости продольных и поперечных волн равны соответственно 13,5 и 7,5 километра в секунду, т. е. более чем в два раза превосходят скорость этих волн в стали. Повидимому, вещество на этих глубинах обладает большой упругостью, превосходящей упругость стали. На особое состояние вещества земного ядра указывает нам резкое падение скорости продольных

волн на границе ядра (рис. 7). Вследствие этого упругие волны преломляются и конденсируются ядром так же, как световые лучи — выпуклой линзой (рис. 8). Упругие волны, распространяясь из очага землетрясения и выходя на расстояниях до 12 тысяч километров, касаются земного ядра. При выходе на поверхность Земли на больших расстояниях наблюдается «сейсмическая тень», ибо волны преломляются ядром по направлению к центру Земли. Так, в случае землетрясения в Новой Зеландии сейсмические станции Англии, Швеции, а также сейсмическая станция «Москва» отмечают сильные упругие волны. Эти станции попадают в область фокуса сейсмических волн. Сейсмическая станция, например, в Оттаве не отмечает почти никакой продольной волны — она попадает в «тень». Исходя из этого, было установлено, что

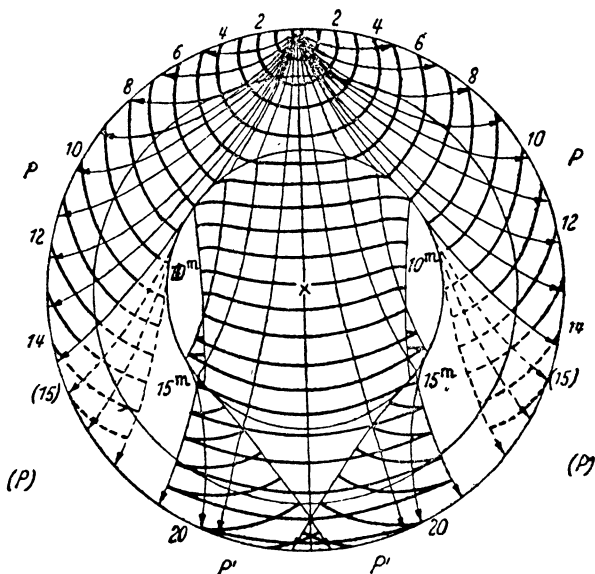


Рис. 8. Прохождение сейсмических волн через земной шар. Цифры указывают время (в минутах) пробега продольных волн от очага землетрясения. P — прямые продольные волны; (P) — продольные волны в зоне тени; P' — продольные волны, преломленные ядром.

диаметр ядра близок к 7 тысячам километров и что ядро залегает на глубине 2900 километров. Граница земного ядра достаточно резка. Упругие волны землетрясения, достигнув ядра, отражаются, и отражённые волны хорошо заметны на сейсмических станциях.

Поперечные волны отражаются от ядра, но через ядро эти волны не проходят вовсе или, проходя, сильно ослабевают. Поэто-

му можно думать, что ядро заполнено вязкой жидкостью. Существует предположение, что ядро ещё не остыло и находится в жидком, расплавленном состоянии. Сейчас мы не можем ещё в точности определить свойства земного ядра потому, что там чрезвычайно велико давление; оно в тысячу раз превосходит давление в канале ствола орудия при выстреле. Температура же ядра может доходить до 2000—3000°C.

Как меняются свойства веществ в таких условиях, мы ещё не знаем. Однако лабораторная техника даёт уже теперь большие возможности для воспроизведения весьма высоких давлений. Нет сомнения, что со временем мы сумеем на поверхности Земли воспроизвести давление и температуру земного ядра.

Сейсмология сыграла также большую роль в изучении более близких к нам частей Земли — земной коры.

При землетрясении продольные волны распространяются во все стороны, заполняя всё больший и больший объём. Наружная поверхность этого объёма, отделяющая область, где наблюдаются колебания, от области, где их ещё нет, куда ещё не успели дойти волны, называется волновым фронтом. Волны распространяются всё дальше, и поверхность волнового фронта разрастается с течением времени. Разрастаясь, волновой фронт встречает нижележащий слой, с большей скоростью распространения волн. Волна частично отражается от этого слоя, но часть её энергии уходит на образование волны в нижележащем слое, распространяющейся быстрее, чем в верхнем слое. На некотором расстоянии сейсмические станции раньше отмечают волну, прошедшую в нижнем слое, чем волну, следующую по первому слою.

Применительно к земной коре исследования выявили не две, а три волны, что возможно лишь в том случае, если земная кора состоит из двух слоёв. Верхний слой сложен гранитами со скоростью распространения продольных волн 5,5 километра в секунду. Второй слой, скрытый от нас первым, был известен только по скорости распространения в нём продольных (6,3 километра в секунду) и поперечных волн. На основании лабораторных опытов были измерены упругие характеристики и плотность большого числа горных пород при высоком давлении, соответствующем довольно большим глубинам под земной поверхностью. Оказалось, что скорости, наиболее близкие к наблюдаемым, будут у базальтов. Это привело к заключению, что второй слой земной коры сложен базальтами. Оба слоя имеют приблизительно одинаковую толщину, несколько изменяющуюся от места к месту, в среднем равную 15—20 километрам.

Для изучения самых верхних слоёв Земли в связи с поисками полезных ископаемых в качестве источника упругих волн используются взрывы в грунте. При этом используют также и волны, отражённые от границ раздела между земными слоями. Такова идея сейсмического метода разведки полезных ископаемых. Этот метод сильно развит у нас в СССР.

Сейсмология в нашей стране решает и будет решать многие сложные задачи, связанные с развитием народного хозяйства в послевоенной сталинской пятилетке. Ещё более точная характеристика нашей территории в сейсмическом отношении, дальнейшая разработка методов сейсмостойкого строительства, поиски полезных ископаемых, изучение строения земной коры и, наконец, создание способа предсказания землетрясений — таковы задачи, стоящие перед нашей сейсмологией. Нет сомнения, что усилиями советских учёных эти задачи будут разрешены.



Цена 60 коп.