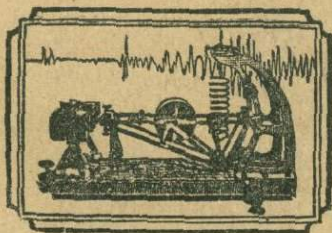


6 9 ар  
АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

---

В. Ф. БОНЧКОВСКИЙ

**ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ  
И МЕТОДЫ  
ИХ ИЗУЧЕНИЯ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

1949

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

550.83

Заслуженный деятель науки  
профессор

В. Ф. БОНЧКОВСКИЙ

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ,  
ИХ ПРИЧИНЫ, ИЗУЧЕНИЕ  
И СПОСОБЫ БОРЬБЫ  
С ИХ ПОСЛЕДСТВИЯМИ

1162



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва — Ленинград

1949



## ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

Землетрясения — одно из самых грозных явлений природы.

Внезапность землетрясения, разрушительная сила колебаний земной поверхности, уничтожение материальных ценностей, гибель многих людей, а также кратковременность всего явления, измеряемого иногда немногими секундами, производят особенно сильное впечатление не только на непосредственных свидетелей этого бедствия, но и на каждого, получившего о нем сведения. И действительно, трудно оставаться спокойным, когда телеграф приносит сведения о гибели нескольких тысяч человек и уничтожении целых городов за какие-нибудь 10—15 секунд.

Но люди не теряются перед разбушевавшейся стихией; пострадавшие получают помощь, города восстанавливаются, и жизнь снова входит в свою обычную колею.

Для успешной борьбы с вредным действием землетрясений необходимо применять защитные мероприятия при восстановлении разрушенных городов или при возведении новых построек в сейсмически беспокойных районах. У нас в стране в этом отношении сделано многое. Разработаны нормы антисейсмического строительства. Произведено сейсмическое районирование отдельных территорий и всей страны в целом. Применение правил сейсмического строительства регулируется государством. Но еще многое следует узнать и сделать, чтобы предохранить здания от разрушений и обеспечить полную безопасность населения в сейсмически опасных районах.

Чтобы яснее представить себе катастрофические землетрясения, приведем описание некоторых из них.

Западный берег Южной Америки весьма подвержен значительным землетрясениям, из которых наиболее катастрофическим было землетрясение 20 февраля 1835 г., опустошившее окрестности города Консепсион. Вот как описывал его один из свидетелей этого события.

«В 10 ч. утра в городе заметили большие стаи морских птиц, пролетавших над домами в глубь материка... В 11 ч. 40 м. почувствовали толчок, вначале слабый, но быстро усиливавшийся. В течение первой полуминуты многие еще оставались в своих домах, но колебания почвы стали настолько сильными, что все бросились искать спасения в открытом месте. Страшное колебание все возрастало, никто уже не мог держаться на ногах; дома, казалось, качались на волнах; как вдруг страшный, все уничтожающий подземный удар опрокинул и разрушил все. Менее чем в 6 секунд город превратился в груды развалин. Треск обрушивающихся домов, страшный грохот земли, в разных местах то разверзающейся, то быстро закрывающейся; крики отчаяния и вопли народа; тучи пыли, которые ослепляли и заставляли задыхаться несчастных жителей; ужас и тревога, доведенные до своего предела, — вот чего нельзя ни описать, ни даже вообразить.

Эта роковая конвульсия произошла через две минуты после первого толчка и продолжалась во всей своей силе почти две минуты. В течение этого времени нельзя было стоять на ногах без какой-либо посторонней опоры; надо было держаться друг за друга, или за деревья... Некоторые ложились на землю, но движение было настолько сильным, что им нужно было расставить руки, чтобы не катиться по земле. Лошади и другие животные, охваченные ужасом, останавливались, расставив ноги, опустив голову и, казалось, были поражены сильной нервной дрожью. Птицы носились по всем направлениям.

После того как прошел этот сильный удар, тучи пыли, поднявшиеся с обрушившихся домов, стали рассеиваться. Все вздохнули свободнее и стали оглядываться. Все лица были бледны и носили мертвенный оттенок. Бледные и дрожащие, покрытые пылью, чуть дыша, люди бежали из одного места в другое, призывая родных и друзей. Многие казались потерявшими рассудок. Сильные толчки все же продолжались с короткими промежутками, доводя разрушения и тревогу.

В течение этого, а также и последующих дней земля не оставалась покойной на более или менее продолжительное время. Колебания, хотя и менее сильные, продолжались еще долго. С 20 февраля по 4 марта было насчитано более трехсот подземных толчков.

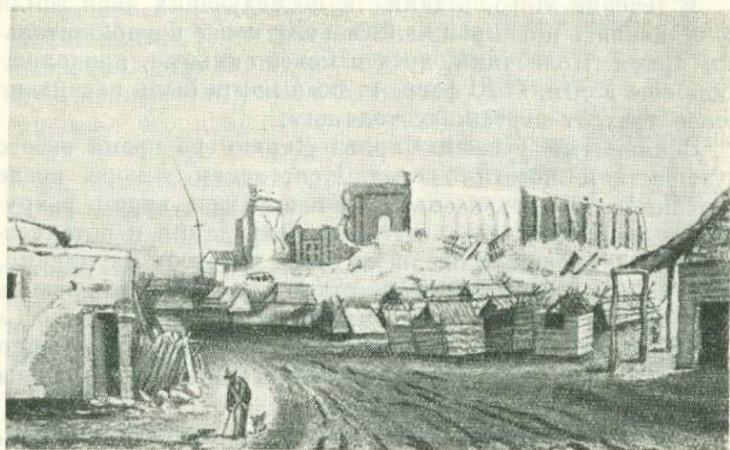
Знаменитый ученый Чарльз Дарвин во время своего путешествия посетил город Консепсион вскоре после описанного землетрясения, был поражен видом разрушений и сказал, что «...чувство сострадания к потерпевшим жителям как-то бледнело перед чувством изумления, возбуждаемым зрелищем переворота, который обыкновенно совершается веками, а тут произошел в одну минуту...»

Через 104 года, а именно в 1939 г., снова произошло здесь же катастрофическое землетрясение и снова город Консепсион был разрушен.

Чтобы представить себе картину этих разрушений, достаточно взглянуть на приведенные здесь фотографии (фиг. 1 и 2).

Южная часть Италии в районах Сицилии и Калабрии часто подвергается землетрясениям, наиболее сильные из которых произошли в 1638, 1659, 1783, 1905, 1907 и 1908 гг. Например, в 1783 г. погибших насчитывалось до 40 000, из них более 2000 унесло водой. Особенно разрушительным было землетрясение 28 декабря 1908 г., во время которого была опустошена часть Сицилии и Калабрии и до основания разрушены города Мессина и Реджио; по имени первого из них оно и вошло в историю. Во время этого землетрясения погибло около 50 000 жителей.

Мессинское землетрясение началось в 5 ч. 21 м. легким дрожанием почвы, нараставшим на протяжении 10 сек. Через 2 мин. произошел толчок страшной силы, который и вызвал катастрофу. Вода в Мессинском проливе поднялась, и огромные волны, высотой до 3 м, хлынули на город, разрушили портовые сооружения, набережную и все низкие части города. Обратная волна вынесла в пролив остатки разрушения, разбитые суда, которые покрыли поверхность пролива. От колебания земли здания разрушились, завалив улицы города и оставив лишь кое-где узкие проходы. Рельсы железной дороги были согнуты и разорваны. На земной поверхности образовались вздутия и опускания. В довершение всего, схлынувшая



Фиг. 1. Развалины собора в Консепсионе, разрушенного землетрясением 1835 г.



Фиг. 2. Одна из улиц г. Чильяна, Чили, после землетрясения 1939 г.

морская волна оставила после себя толстый слой ила, крайне затруднявший перемещение людей.

Наш великий соотечественник, Алексей Максимович Горький, пережил это землетрясение и так его описал: «Земля глухо гудела, стонала, горбилась под ногами и волновалась, образуя глубокие трещины — как будто в глубине проснулся и ворочается веками дремавший некий огромный червь, — слепой, он ползет там в темноте, изгибаются его мускулы и рвут кору земли, сбрасывая с нее здания на людей и животных... Вздрогнув и пошатываясь, здания наклонялись, по их белым стенам, как молнии, змеились трещины, и стены рассыпались, заваливая узкие улицы и людей среди них... Подземный гул, грохот камней, визг дерева заглушают вопли о помощи, крики безумия, стоны раненых... Люди и камни смешиваются в кучи, и все чаще, все сильнее дрожат дома, церкви, их режет под основание какая-то невидимая коса, — ничто не может устоять перед ее гигантскими взмахами... Земля волнуется, как море, сбрасывая с груди своей дворцы, лачуги, храмы, казармы, тюрьмы, школы, каждым содроганием уничтожая сотни и тысячи женщин, детей, богатых, бедных, неграмотных и ученых, верующих в бога и отрицающих его»...

Характер разрушений при Мессинском землетрясении показан на фотографиях (фиг. 3 и 4).

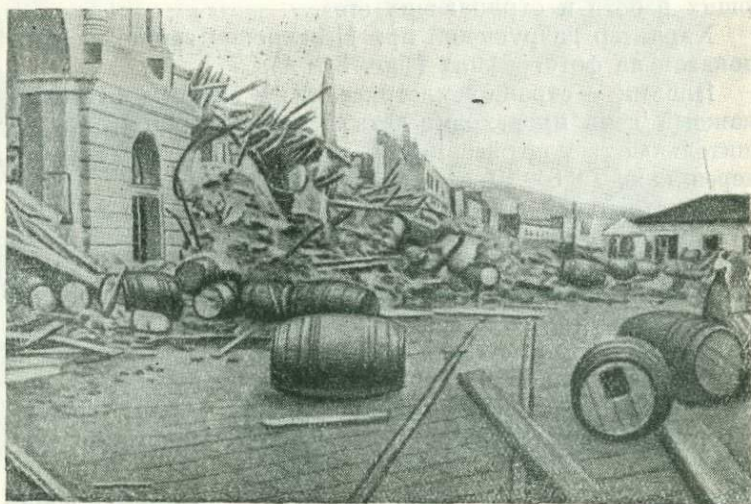
Япония — страна землетрясений. В среднем в Японии каждый день происходит четыре землетрясения. Разрушительные землетрясения повторяются приблизительно через каждые 8—10 лет.

В литературе Японии за 15 столетий описано 223 разрушительных землетрясения. Наиболее памятливы по своим последствиям два землетрясения.

Первое из них произошло 28 октября 1891 г. в провинции Мино-Овари, в 160 км к западу от столицы Японии Токио. При этом землетрясении погибло 17 000 жителей и было разрушено 200 000 домов на площади в 11 000 кв. км. Земная поверхность покрылась большим числом трещин, с гор был сброшен грунт вместе с лесом. Некоторые участки земной поверхности были сжаты настолько, что площадь их заметно уменьшилась. У некоторых домов сбились стены. Рельсы оказались изогнутыми на большом протяжении (фиг. 5).

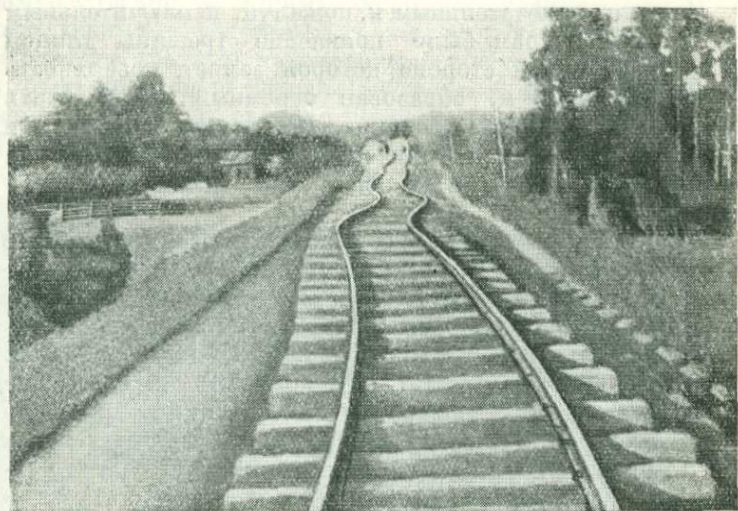


Фиг. 3. Мессина. Улица Виктора-Эммануила до землетрясения

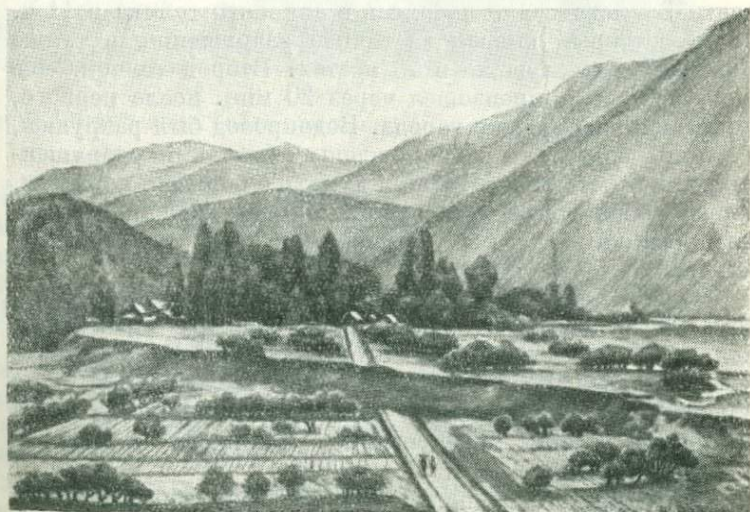


Фиг. 4. Мессина. Та же улица после землетрясения





Фиг. 5. Рельсы, изогнутые во время землетрясения 28 октября 1891 г. в Мино-Овари (Яюция)



Фиг. 6. Сбросовая трещина в Мино-Овари, образовавшаяся во время землетрясения 28 октября 1891 г.

Наиболее замечательным и, пожалуй, исключительным по своим размерам было появление трещины длиной 160 км, по одной стороне которой земная поверхность опустилась на 6 м, образовав огромный уступ почти на всем протяжении трещины. По этому уступу, или сбросу, произошли и горизонтальные перемещения на расстоянии от 1 до 2 м. Вид этой трещины показан на фиг. 6.

Интересно отметить, что перед этим землетрясением в течение нескольких лет вдоль линии разрыва ощущались легкие сотрясения почвы, а за три дня до катастрофы произошел довольно сильный предварительный удар.

Второе из упомянутых разрушительных японских землетрясений произошло 1 сентября 1923 г. Оно было настолько ужасным по своим последствиям, принесло столько несчастья населению страны, что общественность всего мира в той или иной мере откликнулась на это событие и проявила свое сочувствие пострадавшим.

Во время этого землетрясения была разрушена столица Японии Токио; при этом две трети всех домов было разрушено полностью, а остальные значительно повреждены. Землетрясение началось с сильного толчка в 11 ч. 58 м., который вызвал частичное разрушение, а также пожары, вспыхнувшие в 76 местах. Второй толчок, еще более сильный, произошел через 20 мин. после первого, довершив разрушение города. Водопровод был разрушен, а улицы настолько загромождены обломками разрушенных домов, что нечего было и думать о борьбе с пожаром. Город горел почти трое суток. Многие жители сгорели или погибли в водоемах, температура воды которых поднялась до точки кипения.

Одновременно с Токио был разрушен и город Иокогама, а в некоторых прибрежных городах хлынувшей волной снесло в море много сотен домов. В результате предпринятых после землетрясения исследований были обнаружены значительные смещения поверхности морского дна в виде чередующихся выступов и впадин с амплитудой до 270 м.

Общее представление о характере разрушений в Токио при землетрясении 1 сентября 1923 г. дает фиг. 7.

На территории Советского Союза также происходят иногда катастрофические землетрясения. Появляются они

преимущественно в горных областях, расположенных вблизи южных и восточных границ нашей страны.

Приведем краткую характеристику двух землетрясений; одно произошло 28 мая 1887 г., в г. Верном (ныне Алма-Ата) и другое 6 октября 1948 г. в г. Ашхабаде, столице Туркменской республики.



Фиг. 7. Разрушения в Токио при землетрясении 1 сентября 1923 г.

Землетрясение в г. Верном в 1887 г. было изучено и описано известным русским ученым, геологом И. В. Мушкетовым. Согласно его описанию, можно представить себе следующую картину развернувшихся событий.

Город Верный расположен близ северного склона гор Ала-тау. За день до землетрясения домашние животные обнаружили заметное беспокойство и стремились покинуть свои обычные места. Было такое впечатление, что они уже чувствовали предвещающие, но еще очень слабые удары. Первые сильные толчки появились в 4 ч. 35 м. и разбудили всех спящих; в этот же момент был слышен сильный шум и грохот со стороны Ала-тау. В последующие минуты произошел целый ряд сильных толчков, от которых разрушились дома. Удары шли со стороны гор, с юга,

и более всего разрушались стены домов именно в этих направлениях. В горах обрушивались части скал, отдельные камни весом до 3000 пудов летели вниз и сбрасывались на далекие расстояния. Почва, размягченная дождями, сползала со склонов или сбрасывалась с них вместе с лесом и травой. Смешиваясь с водой рек, эта почва превращалась в грязевые потоки. Один из этих потоков шириной до 500 м протянулся по долине на 10 км. Значительны были и человеческие жертвы. Разрушения охватили область до 100 км длиной и около 50 км шириной.

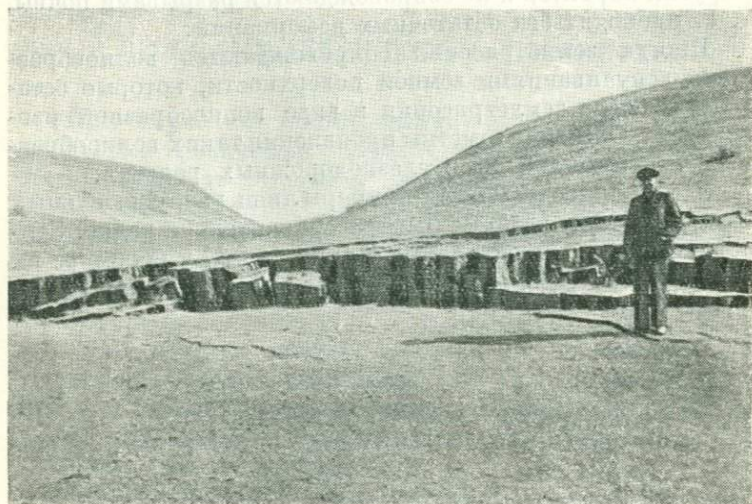
Второй пример относится к землетрясению в Ашхабаде 6 октября 1948 г. Землетрясение было чрезвычайно сильным и впечатление о нем долго еще не изгладится из нашей памяти.

6 октября в 1 ч. 12 м. по ашхабадскому времени, без предварительных толчков, мгновенно произошел вертикальный удар и вслед за ним еще более сильные горизонтальные колебания, которые причинили много повреждений зданиям столицы Туркменской республики и повлекли за собой большие человеческие жертвы. Землетрясение продолжалось 8—10 сек. Много жилых построек было разрушено или сильно повреждено. Однако те здания, при строительстве которых были применены антисейсмические мероприятия, уцелели и остались вполне пригодными для дальнейшей эксплуатации. Немногие каркасные деревянные постройки города также сохранились.

Отличительной особенностью этого сильнейшего землетрясения было то, что сотрясения почвы имели характер только упругих колебаний и не сопровождались разрывами мостовой, падением деревьев и телеграфных столбов. Сохранился в исправности даже водопровод. Разрывы и трещины в почве, а также осыпи и обвалы в горах были найдены в 30 км к юго-востоку от Ашхабада, в местах наибольших разрушений, где удары и колебания достигали наибольшей силы.

Фиг. 8 дает представление о характере трещин, ширина которых достигала метра, а смещение по вертикали — до 1,5 м. Полоса разрушений длиной около 80 км и шириной около 10 км протянулась с северо-запада на юго-восток. Изучение повреждений в разных направлениях от Ашхабада позволяет определить распределение силы зем-

летрясения и нанести на карту изосейсты, т. е. линии, равной силы землетрясения. Это землетрясение сопровождалось большим числом последующих толчков. Анализ записей толчков дает основание предполагать, что очаги этих землетрясений находятся на небольших глубинах, порядка 20—40 км, а эпицентры их располагаются вокруг Ашхабада на территории радиусом около 30—40 км.



Фиг. 8. Трещина в эпицентральной области Ашхабадского землетрясения 6 октября 1948 г.

Немедленная и всесторонняя помощь, оказанная населению, пострадавшему от Ашхабадского землетрясения, правительством СССР и трудящимися других советских республик, показывает силу братских чувств, связывающих все народы великого Советского Союза.

В ближайшие годы столица Туркменской ССР, Ашхабад, будет восстановлена; при этом дома будут построены с соблюдением антисейсмических мероприятий.

На приведенных примерах разрушительных землетрясений в разных странах можно видеть значительное разнообразие в их проявлениях. В одних случаях глав-

ный удар землетрясения предваряется более слабыми ударами, в других он является мгновенным. Часто перед главным ударом слышится гул или грохот, что свидетельствует о наличии колебаний очень короткого периода, бегущих впереди главных колебаний.

В одних случаях землетрясение сопровождается разрывом и смещением земных слоев, видимых и на поверхности, в других — колебания имеют преимущественно упругий характер и не сопровождаются разрывами почвы, т. е. проходят без остаточных деформаций.

Иногда землетрясения сопровождаются волнообразными вспучиваниями земной поверхности, которые остаются и после землетрясения в виде волнообразной изогнутости. Особенно заметны проявления таких волнообразных изогнутостей на железнодорожных рельсах.

Здесь приведены были примеры лишь разрушительных землетрясений, которые бывают сравнительно редко. Землетрясения же более слабые весьма часты, и огромное их большинство совершенно безопасно для населения.

## СИЛА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ. ИЗОСЕЙСТЫ

При изучении землетрясений необходимо получить некоторые физические характеристики, к которым в первую очередь относятся следующие:

1) сила землетрясения в различных пунктах и составленная на основе их так называемая карта изосейст, т. е. карта, на которой проведены линии через точки с одинаковой силой землетрясения;

2) положение эпицентра, или эпицентральной области, т. е. того участка земной поверхности, на котором сила землетрясения была наибольшей; есть основание полагать, что эта эпицентральная область (иначе ее называют «плейстосейстовая») располагается непосредственно над областью очага землетрясения;

3) глубина очага землетрясения.

До настоящего времени еще не установлены приемы инструментального, точного определения силы землетрясения, несмотря на то, что в этом отношении было сделано много очень остроумных предложений. Однако каждый из предложенных приборов имел тот или иной недостаток, лишавший его показания научной объективности. Несомненно, что создание простого и точного прибора, который мог бы быть установлен на сотнях пунктов наблюдения, является одной из важнейших задач сейсмологии, при этом весьма сложной, несмотря на кажущуюся ее простоту.

В настоящее время для оценки силы землетрясения пользуются особой шкалой, выработанной на основе данных о степени разрушения зданий, а также непосредственных наблюдений за состоянием земной

поверхности и поведением различных предметов и людей при землетрясениях.

Эта шкала имеет двенадцать баллов, краткая характеристика которых приведена ниже. Каждый внимательный наблюдатель — очевидец какого-либо землетрясения — может воспользоваться этой шкалой и переслать свои данные в Геофизический институт Академии Наук СССР (Москва 17, Пыжевский пер., 3), который ведет подробную статистику всех землетрясений и обработку инструментальных записей землетрясений.

#### *Шкала для оценки силы землетрясения*

- 1 балл. Ощущается только приборами.
- 2 балла. Очень слабое. Ощущается немногими людьми, находящимися в состоянии покоя.
- 3 балла. Слабое. Ощущается только частью населения в виде сотрясения, как от проехавшего мимо экипажа. Иногда удается определить продолжительность колебаний и их направление.
- 4 балла. Умеренное. Предметы обстановки дрожат и слегка колеблются. Плотно составленная посуда производит звон. Звенят оконные стекла, скрипят двери, балки, полы. Трещат потолки. Колеблется жидкость в открытых сосудах. В отдельных случаях пробуждаются спящие.
- 5 баллов. Довольно сильное. Все предметы, находящиеся в домах, колеблются. Растения и ветви качаются как при умеренном ветре. Свободно висящие предметы: занавеси, висячие лампы, люстры — раскачиваются. Маятниковые часы останавливаются. Остановившиеся до этого маятниковые часы могут прийти в движение. Звенят часовые пружины. Картины сдвигаются с мест. Жидкость из сосудов частично выплескивается. Скрипит мебель. В оконных стеклах появляются трещины. Спящие пробуждаются. Некоторые жители выбегают на улицу.
- 6 баллов. Сильное. Ощущается всеми. Вызывает испуг. Жидкости сильно колеблются. Картины падают со стен, книги с полок. Посуда разбивается. Предметы обстановки сдвигаются с места или опрокидываются. Звенят небольшие колокола. На некоторых домах, даже солидной постройки, штукатурка дает трещины. Кое-где штукатурка откалывается и падает. У домов плохой постройки повреждение сильнее, но все еще неопасного характера.
- 7 баллов. Очень сильное. Значительно повреждаются предметы квартирной обстановки. Звенят большие колокола. На реках и прудах развивается волнение, вода мутнеет от поднятого ила. Появляются оползни. Уровень воды в колодцах изменяется. В стенах домов образуются трещины, откалываются значительные куски штукатурки, лентные украшения, кирпичи. Кровельная черепица отделяется



и падает, дымовые трубы повреждаются, в некоторых случаях падают на крышу. Плохо построенные здания серьезно повреждаются.

8 баллов. Разрушительное. Деревья раскачиваются и иногда ломаются. Тяжелые предметы обстановки сдвигаются с места и частью опрокидываются. Статуи и памятники поворачиваются на постаментах или опрокидываются. Домо-солидной конструкции терпят сильные повреждения в виде больших трещин в стенах, а также частичных разрушений. Дымовые трубы разрушаются. На крутых склонах и на сырой почве образуются легкие трещины. Местами из почвы выступает вода.

9 баллов. Опустошительное. Каменные дома солидной постройки сильно повреждаются. Многие становятся непригодными для жилья. В штукатурке на деревянных домах образуются трещины и щели. Некоторые деревянные дома искривляются. В почве появляются трещины.

10 баллов. Уничтожающее. Большинство каменных построек разрушается вместе с фундаментом. В прочных кирпичных стенах появляются опасные трещины. Сильно повреждаются хорошо построенные деревянные дома, а также мосты. Значительно повреждаются насыпи и плотины. Железнодорожные рельсы несколько искривляются. Трубопроводы, заложенные в почве, разрываются и иногда закупориваются. Каменная и асфальтовая мостовые дают трещины и волнообразные складки.

В рыхлой и особенно влажной почве образуются трещины глубиной до нескольких десятков сантиметров. Наблюдаются оползни рыхлой почвы, со скалистых склонов обваливаются части скал.

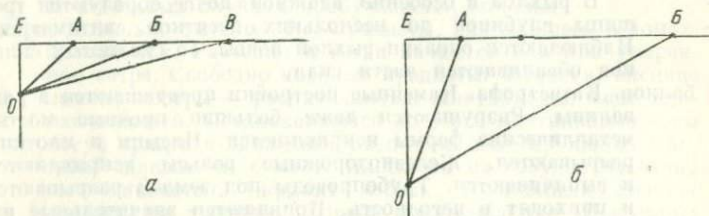
11 баллов. Катастрофа. Каменные постройки превращаются в развалины. Разрушаются даже большие прочные мосты, металлические фермы искривляются. Насыпи и плотины разрываются. Железнодорожные рельсы искривляются и выпячиваются. Трубопроводы под землей разрываются и приходят в негодность. Появляются значительные изменения в поверхностных слоях земли. Образуются широкие трещины со смещениями в горизонтальном и вертикальном направлениях. Наблюдаются многочисленные оползни и обвалы. Из почвы выступает вода с песком и илом.

12 баллов. Сильная катастрофа. Все сооружения разрушаются. Изменения в почве достигают громадных размеров. Появляются сдвиги, сбросы, разрывы в поверхностных слоях земли. Возникают многочисленные обвалы скал, оползни. Берега осыпаются. На озерах и реках образуются водопады, подпруды. Течения рек отклоняются и т. д.

На основе этой шкалы геологи и сейсмологи оценивают силу землетрясений непосредственно на местности. Затем на географической карте подвергшегося землетрясению



района, в каждом исследованном пункте надписывается число, соответствующее определенному баллу землетрясения. По этим числам, интерполируя, проводят непрерывные линии через точки с одним и тем же баллом — изосейсты. Эти линии, как правило, бывают замкнутыми, огибающими эпицентральной область. Каждой изосейсте соответствует свой балл. Подобная характеристика землетрясения является чрезвычайно важной и интересной, ибо она дает возможность наметить эпицентральной область, изучить ее конфигурацию и определить территорию области, пострадавшей от землетрясения. Эта же карта изосейст дает также и первое, ориентировочное представление о глубине залегания очага землетрясения. Действительно, чем глубже очаг землетрясения, тем шире должны разойтись изосейсты между собой и тем большую область на земной поверхности должна захватить каждая из изосейст. Как видно на фиг. 9а, расстояние от мелкого очага  $O$  до точек  $A$ ,  $B$  и  $B$  на земной поверхности возрастает в 2 и 3 раза по сравнению с исходным расстоянием  $OE$ . Чем глубже очаг, тем шире полосы между изосейстами (фиг. 9б).



Фиг. 9. Расположение изосейст в зависимости от глубины очага землетрясения

Учеными найдена некоторая зависимость между глубиной очага и расположением изосейст, которая выражается следующей формулой:

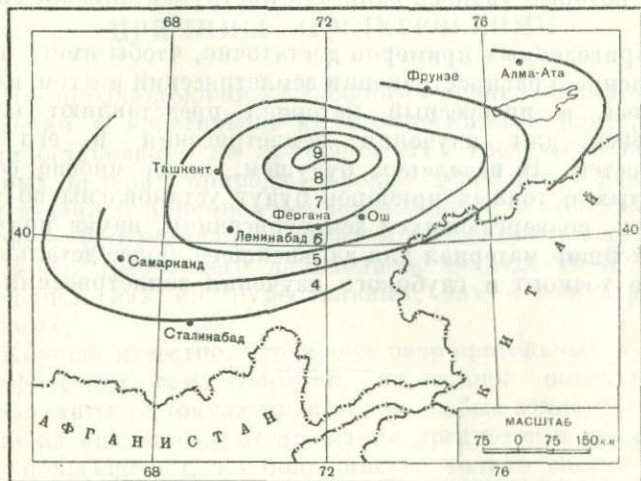
$$\frac{1}{3}(E_0 - E) = \lg \sqrt{1 + \left(\frac{R_E}{h}\right)^2} + 0.06 \sqrt{1 + \left(\frac{R_E}{h}\right)^2},$$

где  $E_0$  — сила землетрясения в эпицентре, в баллах,  $E$  — сила землетрясения по некоторой изосейсте,  $R_E$  — средний радиус этой изосейсты и  $h$  — глубина очага землетрясения.

Другая, еще более простая формула, имеет следующий вид:

$$E_0 = 1.5 + 3 \lg \left( \frac{R^2}{h^2} + 1 \right),$$

где  $E_0$  — попрежнему сила землетрясения в эпицентре (наибольшая);  $R$  — средний радиус площади, на которой ощущалось землетрясение;  $h$  — глубина очага землетрясения.



Фиг. 10. Карта изосейст Чаткальского землетрясения 2 ноября 1946 г. (по Г. П. Горшкову и С. В. Медведеву)

Эти формулы не очень точны, но все же дают возможность ориентировочно определить глубину очага. Для примера приведем результаты изучения Чаткальского землетрясения 1946 г., проведенного отрядом Гармской экспедиции Геофизического института Академии Наук СССР. Изосейсты Чаткальского землетрясения (фиг. 10) представляют собой овалы, вытянутые с запада на восток. Средний радиус области ощущаемых толчков от этого землетрясения равен 450 км. Сила землетрясения в эпицентре определена в 9 баллов. Согласно приведенным формулам, глубина очага землетрясения оказалась около 100 км.

Что касается Ашхабадского землетрясения 6 октября 1948 г., то его изосейсты вытянуты сравнительно узкой полосой с северо-запада на юго-восток. Его особенностью является то, что имеются две области 9-балльной силы землетрясения. Из этого можно сделать заключение о сложной форме самого очага землетрясения. Если использовать уже приводимую формулу, то глубина очага оказывается равной 20 км, что довольно хорошо совпадает с глубинами очагов тех последующих землетрясений, которые удалось записать инструментальным способом.

Приведенных примеров достаточно, чтобы иметь представление о распространении землетрясений и о том, какой важный и интересный материал представляют карты изосейст для изучения землетрясения и его особенностей. В недалеком будущем, когда многие сотни простых и точных приборов будут установлены во всех местах, подвергающихся землетрясениям, наука получит богатейший материал для дальнейшего, более детального, более точного и глубокого изучения землетрясений.



Рис. 10. Карта изосейст Ашхабадского землетрясения 6 октября 1948 г. (д-р Г. И. Топильский и С. В. Медведь).

Эта формула не только дает возможность...  
 восток ориентированы изосейсты...  
 примера, приведенного в...  
 землетрясения 1948 г. ...  
 объяснения. В...  
 СССР. В...  
 представляется...  
 восток...  
 от этого...  
 и...  
 формула...  
 100 км...

## ПРИЧИНЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

После ознакомления с внешними проявлениями землетрясений и некоторыми их физическими характеристиками остановимся на причинах этих грозных и неожиданных явлений природы. Ученые давно ищут разрешения задачи о причинах землетрясений, и можно сказать, что их труды увенчались успехом. Однако есть еще много неясного, требующего дальнейших исследований и наблюдений как инструментальных, так и неинструментальных.

Хорошо известно, что кроме разрушительных и катастрофических землетрясений, на земной поверхности, в различных ее точках происходят слабые землетрясения. Одни из них вызывают дрожание предметов и даже слабые повреждения, но большинство только слегка ощущается. Есть также и такие, которые ощущаются только чувствительными приборами.

К разряду слабых землетрясений относится также особый тип землетрясений, вызванных обвалом породы в пустотах верхних слоев Земли. Подобные землетрясения происходят в так называемых «карстовых областях», т. е. в местах выщелачивания водой легко растворимых известковых пород. Кто бывал в Крыму на горе Чатыр-даг и посетил огромные пещеры, образованные в результате растворения водой известковых пород и выноса их в другие места, тот легко представит себе, что если этот процесс будет продолжаться, то рано или поздно обрушатся своды пещеры, а такое падение вызовет удар и связанные с ним землетрясения. Карстовые области весьма распространены, так что и подобное землетрясение может возникнуть в самых различных точках земной поверхности. Однако

эти землетрясения не вызывают серьезных опасений. Они, как правило, очень слабы, и их распространение ограничивается немногими километрами земной поверхности.

Наблюдением установлено, что землетрясения этого типа иногда выражаются несколькими толчками: за первым толчком следует второй и еще ряд последующих с разницей во времени между толчками в несколько дней. Это объясняется тем, что первый, главный толчок вызывает колебания, которые нарушают равновесие в других местах этой же или соседних пещер и вызывают дополнительные обвалы. Землетрясения этого типа носят название обвальных. Несмотря на широкое распространение карстов, происходят они довольно редко.

Землетрясения другого типа связаны с процессами вулканизма и, следовательно, имеют место только там, где есть действующие вулканы. Это так называемые вулканические землетрясения. Иногда они бывают весьма значительной силы, однако и в этих случаях район их распространения ограничен радиусом в несколько десятков километров.

18 июля 1883 г. в Италии на острове Иския (недалеко от Неаполя) вулканическим землетрясением в несколько секунд был разрушен город Казамиччола, расположенный на склоне вулкана Эпомео, который считался недействующим. Предварительные толчки были ощутимы в течение нескольких дней перед катастрофой.

В ноябре 1948 г. ощущались довольно сильные вулканические землетрясения на Камчатке.

Вулканические землетрясения не всегда бывают связаны с извержением вулкана. В некоторых случаях толчки вызываются, вероятно, подземными взрывами паров и газов, сопровождающими процесс продвижения лавы по жерлу к поверхности.

В тех случаях, когда эти вещества пробивают канал вулкана, заполненный прочной каменной породой, и выливаются или выбрасываются из его жерла, самый момент взрыва канала также связан с возникновением вулканического землетрясения. Очевидно, что в этом случае землетрясение и извержение вулкана будут следовать одно за другим. Вулканические землетрясения могут быть опасными для зданий и людей только в непосредственной близости от самого вулкана.

Третий тип землетрясения — тектонические, связанные с формированием горных систем и движением вещества в них. Чтобы яснее себе представить причины их возникновения, вспомним некоторые важные явления на земной поверхности, сопровождающие эти землетрясения.

Уже упомянутое нами землетрясение 1891 г. в Японии в провинции Мино-Овари сопровождалось разрывом, а также вертикальным и горизонтальным перемещением земных слоев.

При землетрясении в Греции 26 октября 1873 г. был разорван телеграфный кабель, уложенный на дне моря на глубине 426 м. После исследования места разрыва было обнаружено, что один из концов этого кабеля оказался на глубине в 609 м засыпанным обломками камней. Этот факт указывает на то, что во время землетрясения произошло мгновенное опускание дна моря на глубину более 150 м, а часть поднятых пород разрушилась и образовала провал на месте вертикального сдвига.

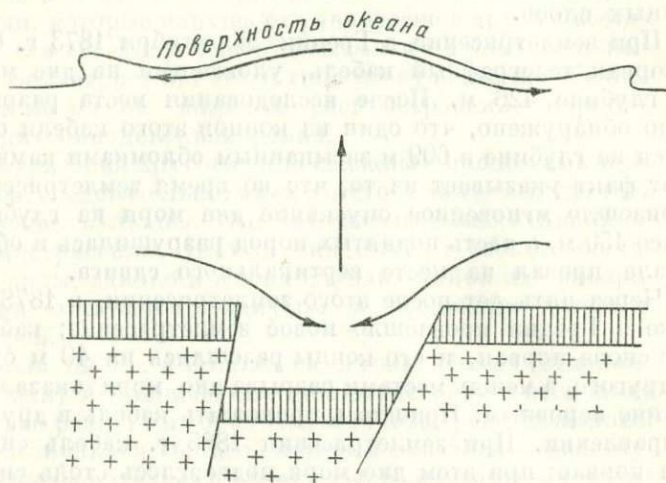
Через пять лет после этого землетрясения, в 1878 г., тоже в Греции произошло новое землетрясение; кабель был снова порван, и его концы разошлись на 40 м один от другого, а между местами разрыва дно моря оказалось крайне неровным. Пришлось проложить кабель в другом направлении. При землетрясении 1885 г. кабель снова был порван; при этом дно моря подверглось столь сильным перемещениям, что на коротком расстоянии разница в глубинах измерялась несколькими сотнями метров.

При землетрясении в 1886 г. в Греции глубина моря к югу от места разрыва увеличилась на 400 м.

При землетрясении 1884 г. в Атлантическом океане порвались одновременно три кабеля, проложенные по дну на расстоянии 12 км один от другого. Все места разрыва оказались на одной прямой линии. После этого землетрясения были обнаружены значительные изменения рельефа морского дна.

Приведенных примеров достаточно, чтобы представить себе размеры нарушений морского дна. Еще большие нарушения рельефа дна происходят при многочисленных землетрясениях в Тихом океане, к востоку от азиатских берегов. Подобные нарушения дна океана вызывают возникновение океанских волн, которые, набегая на берег после землетрясения, производят огромные опустошения.

Самый механизм возникновения океанских волн при землетрясениях можно разъяснить схемой, приведенной на фиг. 11. В момент образования впадины на дне моря вода устремляется в нее, накапливается, и в результате этого над местом впадины образуется водяной горб, который формируется в волны, растекающиеся от места горба.



Фиг. 11. Механизм возникновения океанских волн при землетрясениях

На основании известных науке фактов о разрывах и смещениях земной поверхности при землетрясениях можно сделать два вывода: 1) смещения на дне океана во много раз превышают смещения на поверхности континента и 2) мгновенное смещение земных слоев относится к землетрясению как причина к последствию, т. е. что не землетрясения вызывают смещения, а наоборот, смещения порождают грандиозные сотрясения Земли.

Можно высказать такую мысль, что огромное большинство землетрясений имеет своей основной причиной движения в глубоких слоях под земной корой, в веществе, значительно более подвижном, чем земная кора: последняя, реагируя на движения в подкоровом веществе, деформируется, образуя трещины и смещения,



которые и являются источниками землетрясений. Конечно, нельзя отрицать и того, что в земной коре и даже в ее самых верхних слоях могут возникать самостоятельные очаги землетрясений, что также подтверждается наблюдениями. На вопрос о том, почему при землетрясениях на дне океанов наблюдаются гораздо большие смещения слоев, чем на поверхности континентов, вероятно, следует ответить, что дно океанов или представляет собой непосредственно поверхность подкорового вещества или же весьма близко подходит к нему (во всяком случае гораздо ближе, чем поверхность континентов).

Таким образом, основная часть землетрясений возникает не в толще земной коры, а в подкоровом веществе, и иногда на весьма большой глубине, измеряемой сотнями километров. В настоящее время найдено большое число очагов землетрясений на больших глубинах, достигающих 600—700 км, т. е. тех слоев Земли, которые многими геологами еще недавно считались неподвижными. Неверно было бы думать, что земная кора и процессы, на ней протекающие, не зависят от подкорового вещества; наоборот, главные процессы и особенно те из них, которые вызывают образование и формирование горных систем, подчинены внутренним процессам, происходящим в подкоровой части Земли, т. е. на глубине более 50—60 км. Можно себе представить, что по некоторой физической причине подкоровое, более подвижное вещество притекает снизу, вероятно, весьма медленно, к каким-то определенным частям земной коры. В этих частях кора начинает также медленно деформироваться, отдельные ее слои изгибаются в складки, другие перемещаются в горизонтальном и вертикальном направлениях. Изгибание земной коры не всегда идет плавно, и иногда убыстряющийся процесс перемещения подкорового слоя или же перенапряжение в слоях земной коры приводят к разрывам и сдвигам, вызывающим землетрясения. С этой точки зрения, землетрясение есть признак подвижности глубинных слоев. Следует указать, что подобные движения подкорового вещества неизбежно вызывают и явления противоположного типа, т. е. прогибы земной коры вниз.

При условии ритмичности подкоровых течений, после фазы притока подкорового вещества может начаться его отток, и горная система превратится в свою противо-

положность — во впадину. Таких примеров известно в геологии множество.

Установлено, например, что базальтовые лавы, составляющие подкоровое вещество, время от времени поднимались из глубин и выливались на поверхность Земли, образуя целые базальтовые покровы. Базальт северо-западнее Индостана занимает площадь около 500 000 кв. км, и это излияние произошло в конце мелового периода. Дно Атлантического океана от берегов Ирландии до Земли Франца-Иосифа на расстоянии в 3000 км покрыто потоком такой же лавы. «Сибирские траппы» — это такие же излияния лав в северных частях Сибири, но они относятся к пермскому периоду, т. е. это более древнее образование, чем лавы Индостана. Много лавовых покровов в Южной Америке, в юго-восточной и северо-западной Австралии и в других местах. Дно Тихого океана также состоит из лав, которые поднялись с больших глубин Земли.

Все это свидетельствует о том, что в процессе развития Земли происходили перемещения подкорового вещества, сопровождавшиеся большими структурными изменениями. Нет никаких оснований считать, что процессы движения подкорового вещества в настоящее время прекратились.

Приняв возможность таких перемещений подкорового вещества, можно объяснить многие процессы формирования земной поверхности. При этом землетрясение рассматривается как небольшое событие на фоне грандиозных движений, совершающихся на протяжении целых геологических эпох. К сожалению, мы еще очень плохо знаем свойства подкорового вещества и протекающие в нем процессы. Известно, что вещество это находится в твердом состоянии, оно способно к деформациям и перемещениям под влиянием медленно действующих сил.

Какие же силы влияют на подкоровое вещество Земли и вызывают его перемещения?

Очень вероятно, что большое значение имеет постепенное замедление вращения Земли, в силу которого должен совершаться отток подкоровых масс от экваториальных областей к полярным. Этот постоянно действующий фактор должен вызвать не только движение, но и непрерывное давление в движущихся массах. Чтобы пред-

ставить себе законность предположения о постоянно действующем оттоке подкорового вещества из экваториальных областей, достаточно вспомнить следующее явление. На вращающейся Земле под влиянием притяжения Луны и Солнца возникают приливные волны в океанах, которые создают избытки водных масс в тех областях земной поверхности, которые расположены вблизи воображаемой линии, соединяющей центры Земли и Луны, и создают недостаток водных масс в других областях земной поверхности. Притяжение Луной этих дополнительных водных масс, которые формируются в виде гигантских водных вышуклостей, оказывает тормозящее действие на вращение земного шара, медленно, но постоянно уменьшая скорость его вращения вокруг своей оси. Подсчитано, например, что около миллиарда лет тому назад сутки, т. е. время обращения Земли вокруг своей оси, составляли только 0.8 современных суток.

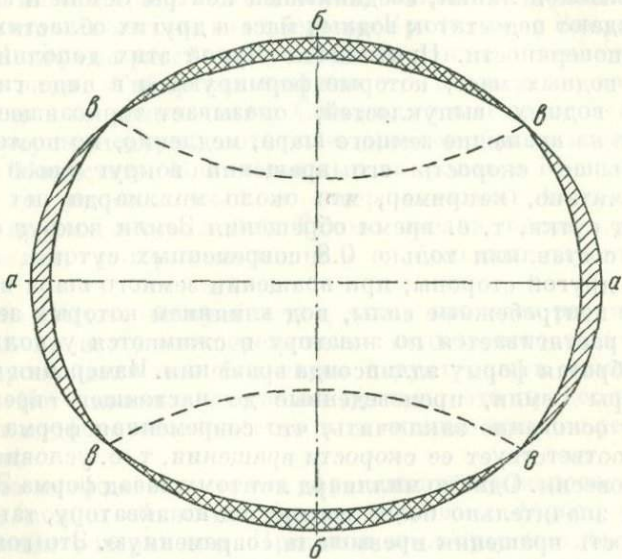
С другой стороны, при вращении земного шара возникают центробежные силы, под влиянием которых земной шар растягивается по экватору и сжимается у полюсов, приобретая форму эллипсоида вращения. Измерения точек фигуры Земли, произведенные до настоящего времени, дают основание заключить, что современная форма Земли соответствует ее скорости вращения, т. е. условиям ее равновесия. Однако миллиард лет тому назад форма Земли была значительно более вытянутой по экватору, так как скорость вращения превышала современную. Это говорит о том, что за данный период времени произошло перераспределение вещества Земли с помощью единственного возможного процесса — медленного перемещения масс.

Для более ясного понимания этого явления обратимся к фиг. 12; *аа* — представляет собой эллипсоид вращения миллиард лет назад, *бб* — современный эллипсоид; пунктирные линии *вв* — линии пересечения прежнего и нового эллипсоидов.

На фигуре видно, что избытки масс у экватора, помеченные штрихами, переместились в полярные области. С наибольшей скоростью это перемещение произошло по линиям пересечения *вв*, которые, согласно теории, должны располагаться на широте около  $35^\circ$ . Так как вращение Земли продолжает замедляться, то мы в праве

ожидать, что и процесс перемещения вещества по этой причине также не прекратился и в настоящее время.

Судя по фиг. 12, в северном полушарии перемещение вещества должно происходить в направлении с юга на север. Однако нельзя забывать, что на вращающейся Земле на всякое движущееся тело действует отклоняющая сила в правую сторону — в северном полушарии и в ле-

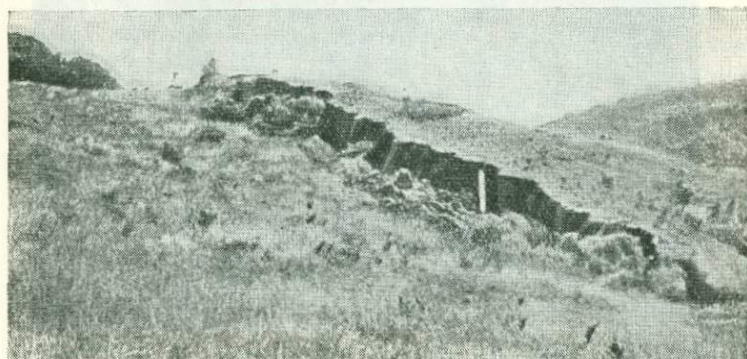


Фиг. 12. Форма эллипсоидов вращения в различные эпохи

вую — в южном. Поэтому вполне возможно, что указанные перемещения осложняются, и вещество движется не точно с юга на север. Правда, эта отклоняющая сила в применении к таким медленным движениям чрезвычайно мала (она пропорциональна скорости движения), но она действует непрерывно и в большие периоды времени может дать заметный результат.

Осложнения в движении земной коры и подкорового вещества вносят также: явления приливов и отливов вещества Земли, существование которых доказано инструментальными наблюдениями; процессы сжатия земного

шара в результате непрерывного охлаждения его внешней поверхности; наконец, весьма вероятные перемещения подкорового вещества вследствие изменения положения оси вращения земного шара. Нельзя также забывать о радиоактивных процессах внутри Земли, создающих повышенные температуры в различных частях земного шара, о конвективных движениях по радиусу Земли вследствие неравномерного распределения более тяжелых и более легких пород, т. е. неоднородности строения земного шара. Все это вместе взятое порождает, вероятно, весьма большую сложность движения в подкоровом веществе,



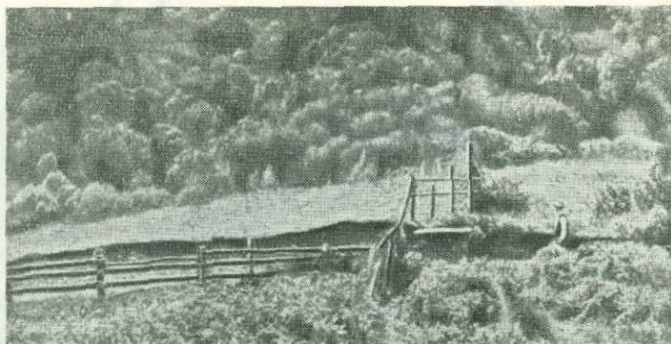
Фиг. 13. Калифорнийское землетрясение 1906 г. Вертикальное смещение по линии разрыва

вызывая, с одной стороны, медленные, спокойные движения земной поверхности, а с другой — формируя горные системы и связанные с ними разрывы и сдвиги как в земной коре, так и в самом подкоровом веществе.

Что касается самого механизма землетрясения, то в настоящее время мы его отождествляем с тем механизмом, который порождает образование трещин и перемещение пластов. В горных областях такие перемещения особенно часто происходят по поверхностям соприкосновения различных пород, т. е. по так называемым поверхностям разрыва. Эти поверхности разрыва часто бывают доступны непосредственному наблюдению. При землетрясении в Калифорнии в 1906 г. произошел сдвиг по поверхности раз-

рыва длиной в 306 км. Средняя величина самого сдвига в горизонтальном направлении равнялась 3 м, а в отдельных местах 6—7 м, в вертикальном 1—2 м. Фотографии этой деформации земных слоев представлены на фиг. 13 и 14 и хорошо иллюстрируют процесс смещения. Возможно, что на поверхности Земли мы видим только слабое выражение того смещения, главная часть которого произошла на значительной глубине.

Для объяснения подобных смещений представим себе, что земные слои находятся под давлением, причем самое

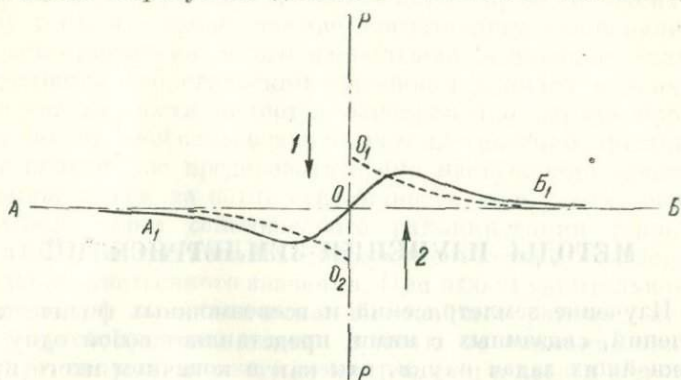


Фиг. 14. Калифорнийское землетрясение 1906 г.  
Горизонтальное смещение по линии разрыва

давление, ввиду разнородности структур, может оказаться также неравномерным. Допустим для простоты, что по обеим сторонам поверхности разрыва  $PP$  действуют силы в противоположных направлениях, как показано на фиг. 15. Тогда на некоторую произвольно выбранную поверхность  $AOB$  будут действовать силы  $1$  и  $2$ , и поверхность  $AOB$  под их влиянием начнет медленно изгибаться, принимая форму  $A_1OB_1$ , т. е. подвергаться упругой деформации. При продолжающемся действии сил  $1$  и  $2$  упругая деформация может перейти в остаточную с образованием разрыва по линии  $PP$  в точке  $O$ , и концы разрыва расположатся в точках  $O_1$  и  $O_2$ . Отрезок  $O_1O_2$  будет равен величине смещения.

Фиг. 15 представляет собой только простейшую схему механизма мгновенных смещений; в действи-

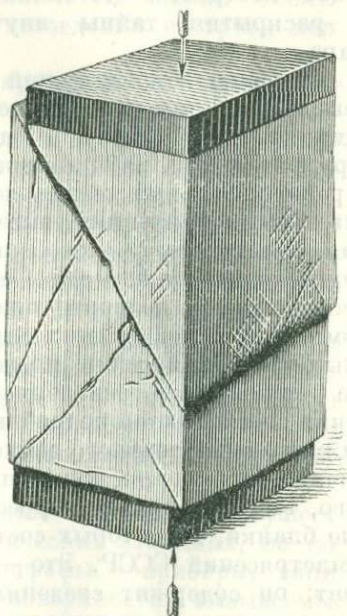
тельности они гораздо сложнее. При сжатии фигуры из воска образуется довольно сложная система тре-



Фиг. 15. Схема изгибов и разрывов земной коры

щин (фиг. 16); на основной поверхности разрыва образуются более мелкие разрывы, которые появляются как до возникновения главной трещины, так и после ее образования.

Все приведенные примеры дают нам некоторое представление о землетрясении как о явлении, далеко не случайном, а о таком, которое подготавливается многочисленными процессами большого или малого масштаба. Следовательно, каждое землетрясение имеет свою предисторию и является одним из выражений естественного процесса внутри Земли, продолжающей свой дальнейший путь развития.



Фиг. 16. Фигура из воска, расколовшаяся и смещенная под влиянием давления в направлении, показанном стрелками

## МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Изучение землетрясений и всевозможных физических явлений, связанных с ними, представляет собой одну из важнейших задач науки, так как в конечном итоге преследует цели прогноза землетрясений, разработки способов постройки устойчивых (сейсмостойких) зданий и раскрытия тайны внутреннего строения земного шара.

Изучение землетрясений производится как неинструментальным, так и инструментальным методом. Оба они одинаково необходимы, и один дополняет другой. Неинструментальные наблюдения касаются только сильных и разрушительных землетрясений и производятся специальными экспедициями, выезжающими на места разрушения. Независимо от этого существует сеть так называемых корреспондентов на местах, которые, являясь свидетелями происшедшего явления, описывают его и свои сведения помещают в специальных опросных карточках, пересылаемых в Геофизический институт Академии Наук СССР. На основе многочисленных корреспондентских сведений составляются подробные карты распределения силы каждого значительного землетрясения и определяется величина территории, охваченной землетрясениями. Кроме того, все сведения от корреспондентов заносятся на особые бланки, из которых составляется карточный каталог землетрясений СССР. Это — чрезвычайно важный документ: он содержит сведения о всех землетрясениях за много сотен лет, по нему можно составлять обзоры о землетрясениях любой области и, что очень важно, составлять так называемые карты сейсмичности, т. е. географические карты страны, на которые наносятся данные о наиболее



сильных землетрясениях, когда-либо происходивших. Ввиду того, что землетрясение представляет собой явление повторяющееся и его наибольшая возможная сила определяется геологическим строением данного района, карта сейсмичности является одновременно картой прогноза наибольшей силы возможных землетрясений. По этой карте нельзя еще предсказать время наступления землетрясения, но все же карта сейсмичности, или, как ее еще называют, карта сейсмического районирования территории СССР, представляет собой документ весьма большого народнохозяйственного значения. При любом капитальном строительстве в сейсмически спокойных районах инженер-проектировщик должен принять во внимание наибольшую силу возможного землетрясения и ввести в свой проект все необходимые антисейсмические мероприятия для сооружения достаточно устойчивых зданий. Соблюдение этих мероприятий при возведении построек полностью себя оправдало.

Карта сейсмического районирования составляется не только на основании данных о землетрясениях, содержащихся в карточных каталогах, но и на основании результатов исследований нескольких поколений геологов, изучавших строение земной коры в различных ее участках. Составленная карта сейсмического районирования не представляет собой неизменного документа; наоборот, время от времени в нее могут и должны быть вносимы поправки на основе геологических и сейсмических данных, а также поправки, которые вносит сама природа появлением, например, землетрясения такой силы, какая не была прежде учтена. Так, в частности, случилось с последним Ашхабадским землетрясением 6 октября 1948 г., силу которого нельзя было предвидеть по имеющимся материалам.

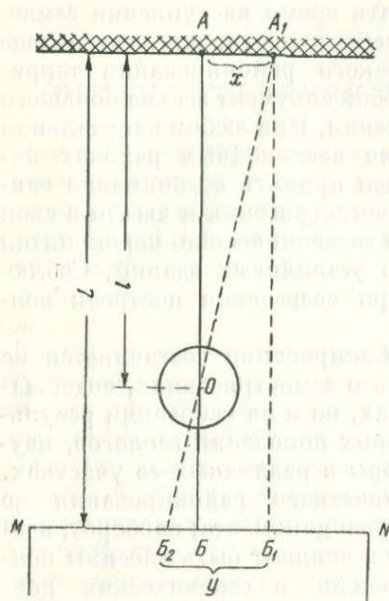
Инструментальные сейсмические наблюдения осуществляются на специальных сейсмических станциях, на которых устанавливаются сейсмографы, — приборы, записывающие колебания земной поверхности, вызываемые землетрясениями. Отдельные станции снабжены сейсмографами такой чувствительности, что они могут записать колебания земной поверхности, вызванные сильными или разрушительными землетрясениями в любой точке земного шара. Другие сейсмические станции, особенно распо-

ложенные в сейсмически неспокойных местах, должны записывать колебания местных слабых землетрясений.

Задачей сейсмологии на ближайшее будущее является создание таких сейсмических станций, которые могли бы записывать далекие сильные, местные слабые и местные разрушительные землетрясения. Кроме того, весьма

важной задачей является также разработка простейших и точных приборов и установка их в сейсмических районах для дополнительной инструментальной характеристики каждого значительного землетрясения.

Остановимся на принципах устройства современных сейсмографов. Налучшим приемником колебаний земной поверхности является маятник с собственным периодом колебаний, значительно превышающим период колебаний данной поверхности. Для уяснения этого обратимся к фиг. 17.



Фиг. 17. Схема действия вертикального маятника

Вертикальный маятник с грузом  $O$  подвешен на тонкой нити в точке  $A$  своей арматуры. Конец этого маятника  $B$  производит запись на бумаге  $MN$ .

Допустим, что земная поверхность вместе с арматурой и бумагой сдвинулась весьма быстро на расстояние  $x$ ; при этом точка подвеса  $A$  приняла положение  $A_1$ , точка  $B$  на бумаге сдвинулась в точку  $B_1$ . Однако, если движение земной поверхности произошло очень быстро, во время, гораздо меньшее, чем время полного собственного колебания маятника (период), то груз  $O$  за время перемещения  $x$  останется на месте как инертная масса. В этом случае нить маятника и его пишущий конец займут положение  $A_1OB_2$ . Это будет означать, что при смещении

х пишущий конец маятника сдвинулся на бумаге на расстоянии  $B_1B_2$ , которое обозначено через  $y$ . Из подобных треугольников  $AOA_1$  и  $B_2A_1B_1$  получим следующее простое соотношение:

$$x : y = l : L,$$

откуда  $x = y \frac{l}{L}$ . Отношение  $L : l$  есть «увеличение» маятника, которое обозначим через  $K$ . Тогда

$$x = \frac{y}{K}.$$

В этом случае весьма просто определить истинное смещение почвы, зная величину смещения пишущего конца маятника  $y$  и увеличение  $K$ .

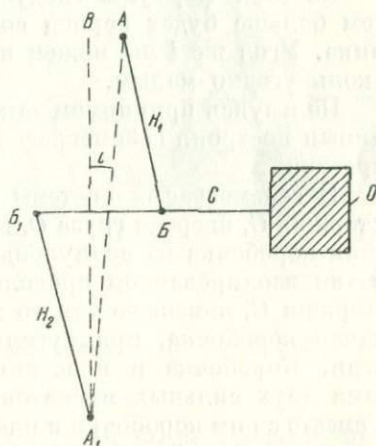
Однако при землетрясениях колебания почвы бывают иногда довольно большого периода, достигающего нескольких секунд; поэтому, чтобы сделать маятник пригодным для их записей, необходимо было бы его весьма сильно удлинить, сделав величину  $l$  равной нескольким метрам.

Это вытекает из формулы, связывающей период качания маятника  $T$  с его приведенной длиной  $l$ , а именно

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где  $\pi$  — постоянная величина, равная 3.14;  $g$  — ускорение силы тяжести. Удлинение маятника, конечно, практически мало приемлемо. Вопрос решается неожиданно просто применением так называемых горизонтальных маятников, периоды которых мы можем повышать без изменения размеров самих маятников.

Представим себе следующую систему подвеса груза маятника (фиг. 18). Груз  $O$  насажен на жесткий стержень  $C$



Фиг. 18. Схема действия горизонтального маятника

Этот стержень соединен с арматурой прибора посредством двух тонких стальных нитей  $H_1$  и  $H_2$ , закрепленных в точках  $A, A_1$  и  $B, B_1$ . Вся эта система вращается около воображаемой оси  $AA_1$ . Ось  $AA_1$  отклонена от вертикали  $BA_1$  на угол  $i$ . В этом случае период собственных колебаний маятника будет равен

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g \sin i}}$$

или, если угол  $i$  очень мал, то формула упрощается:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{gi}}$$

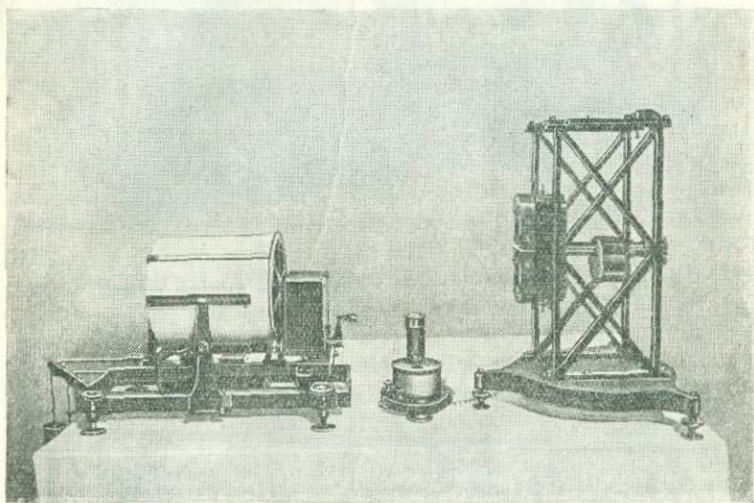
Из этой формулы следует, что чем меньше угол  $i$ , тем больше будет период собственных колебаний маятника. Угол же  $i$  мы можем по своему произволу сделать сколь угодно малым.

Пользуясь принципом такого подвеса, акад. Б. Б. Голицын построил сейсмограф для записи далеких землетрясений.

В сейсмографах системы Голицына на продолжении стержня  $C$ , впереди груза  $O$ , имеется прямоугольная плоская коробочка из целлулоида, внутри которой помещены витки изолированной проволоки, а еще далее, на конце стержня  $C$ , помещена такого же размера, как и целлулоидная коробочка, прямоугольная пластинка из красной меди. Коробочка и пластинка помещены между полюсами двух сильных магнитов. При движении маятников, а вместе с ним коробочки и пластинки, в витках проволоки в целлулоидной коробочке возникают электрические токи, которые по проводникам передаются в гальванометр; в то же время в медной пластинке возникают так называемые токи Фуко, стремящиеся задержать движение пластинки, а следовательно, и всего маятника. Перемещая магниты и уменьшая или увеличивая расстояние между полюсами, добиваются необходимой чувствительности прибора и такого сопротивления, чтобы собственное качание маятника не нарушало правильности записи. Колебание же гальванометра записывается световым лучом на фотобумаге, надетой на специальный барабан, который вращается часовым механизмом вокруг горизонтальной оси,

а сама ось при этом с каждым оборотом барабана перемещается на шаг винтовой нарезки, нанесенной на конце оси вращения. Такая система дает возможность длительной (в течение суток или половины суток) и непрерывной записи состояния маятника.

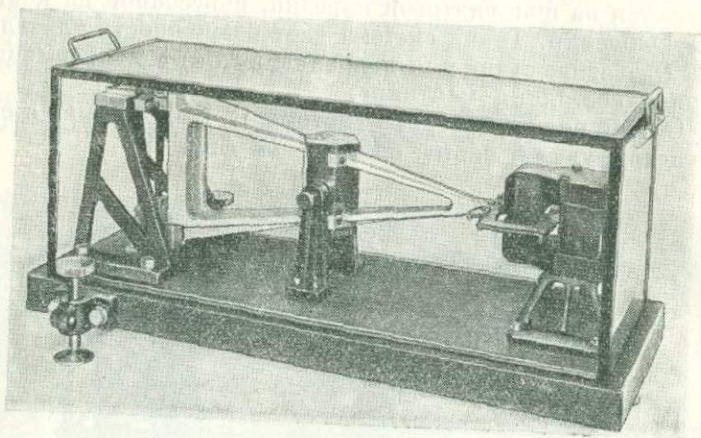
Общий вид сейсмографа системы Б. Б. Голицына и его регистрирующей части показан на фиг. 19.



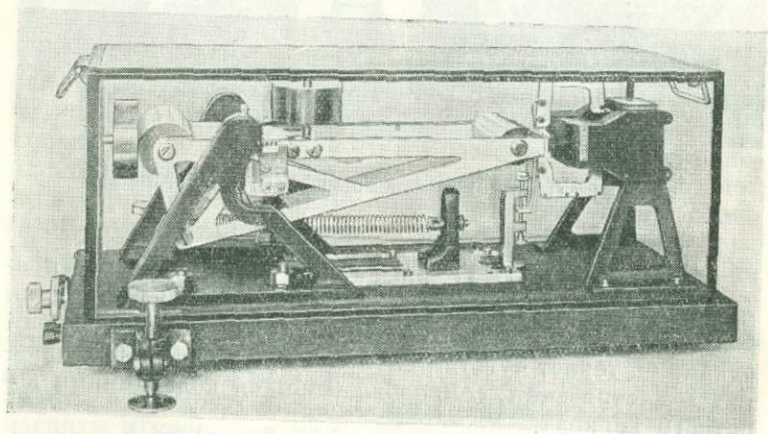
Фиг. 19. Общий вид сейсмографа Б. Б. Голицына

Сейсмограф Б. Б. Голицына, как было указано, прекрасно записывает далекие землетрясения (на расстоянии более 1000 км от сейсмической станции до эпицентра), однако он теряет чувствительность при регистрации близких землетрясений, сопровождающихся колебаниями короткого периода.

Для записи колебаний, вызванных близкими землетрясениями, необходимо было создать новую аппаратуру, достаточно чувствительную к колебаниям короткого периода (0.2—0.5 сек.), точно воспроизводящую характер движения земной поверхности, а также достаточно прочную, чтобы выдерживать землетрясения значительной силы.



Фиг. 20. Горизонтальный сейсмограф Д. П. Кирноса



Фиг. 21. Вертикальный сейсмограф Д. П. Кирноса

Такие сейсмографы были построены в 1945 г. советским сейсмологом Д. П. Кирносом и в последующие годы испытаны в практической работе. Приборы эти по качеству своей работы являются лучшими в мире.

Основной принцип их конструкции остается тем же, что и у сейсмографов Голицына, но нити подвеса заменены тонкими стальными пластинками, вместо двух пар магнитов применяется одна пара, катушка изолированной проволоки помещена в вырезах самой медной пластинки, значительно изменена конструкция гальванометра и его физические постоянные. Общий вид сейсмографов Кирноса показан на фиг. 20 и 21.

На каждой сейсмической станции имеются три сейсмографа, из которых два установлены так, что они записывают колебания в двух взаимно перпендикулярных направлениях: Север — Юг и Восток — Запад, а третий сейсмограф записывает только вертикальные колебания, т. е. вверх и вниз. Подобная установка сейсмографов является необходимой, так как сейсмические колебания распространяются из очагов землетрясения вдоль так называемых сейсмических лучей, которые подходят к земной поверхности снизу вверх под различными углами.

При помощи указанных трех сейсмографов можно определить направление пришедшего к станции сейсмического луча, а также угол его наклона к земной поверхности — угол выхода.

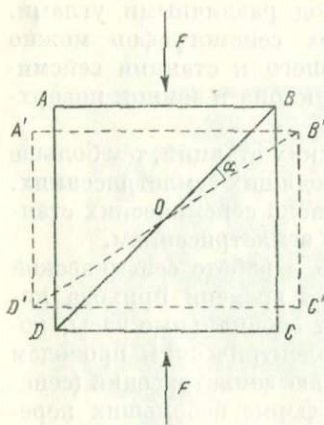
Чем больше в стране сейсмических станций, тем больше мы узнаем подробностей о происходящих землетрясениях. Особенно важно иметь большое число сейсмических станций в местностях, подверженных землетрясениям.

Чрезвычайно важное значение в работе сейсмической станции имеет точное определение времени прихода колебаний. Для этого используются специальные часы, которые через каждую минуту по электрическим проводам посылают на фотоленту с записью землетрясений (сейсмограмму) сигналы времени (в форме небольших перерывов в записи или столь же кратковременных ее сдвигов). При обработке сейсмограмм точность определения момента прихода колебаний на сейсмическую станцию должна быть доведена до 0.1 секунды.

## СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ. ОБРАБОТКА СЕЙСМОГРАММ

Для того чтобы было ясно, как в дальнейшем должна обрабатываться сейсмограмма, прежде всего остановим внимание на характере сейсмических волн, которые приходят к земной поверхности от очага землетрясения и записываются сейсмографами.

Возьмем, например, кубик из упругого вещества; сечение его в плоскости бумаги будет представлено квадратом  $ABCD$  (фиг. 22). Допустим далее, что этот кубик



Фиг. 22. Схема деформации под влиянием сжатия

находится внутри Земли и подвержен давлению с двух противоположных сторон. Приложенные к нему силы обозначены стрелками  $FF$ . Кубик сдавливается этими силами сверху и снизу, но при этом неизбежно расширяется в противоположных давлению направлениях. Взаимодействие обоих этих движений, т. е. сжатия продольного (вдоль силы) и поперечного расширения, вызывает изменение объема и формы тела, так как квадратное сечение  $ABCD$  превращается в сечение прямоугольное  $A_1B_1C_1D_1$ , а диагональ  $DOB$  занимает положение  $D_1OB_1$ .

При этом происходит кручение вещества внутри тела. Если силы были приложены мгновенно и затем исчезли,



то упругое тело кубика может совершить несколько аналогичных колебаний с переменной их направления. Если кубик находится внутри упругой среды, то произведенные им колебания передадутся среде и будут распространяться по ней во всех направлениях.

Возникают два типа упругих колебаний или сейсмических волн: продольные — в виде сжатия и расширения вещества в направлении их распространения, и поперечные — в виде периодических сдвигов вещества или периодических изменений формы тела в направлении, перпендикулярном к распространению самой волны. Первые из них, продольные, обозначаются латинской буквой *P* (*undae primae* — волны первые), так как они имеют большую скорость распространения и приходят первыми, а вторые, поперечные, — латинской буквой *S* (*undae secundae* — вторые волны), так как они приходят после волн *P*. Эта особенность в колебаниях упругого вещества имеет огромное значение для сейсмологии. Кроме волн продольных (*P*) и поперечных (*S*), на сейсмическую станцию приходят еще волны поверхностные, обозначаемые буквой *L* (*undae longae* — волны длинные), которые возникают на земной поверхности, как на свободной границе упругой среды. Эти волны распространяются еще медленнее поперечных и обладают наибольшими амплитудами колебаний.

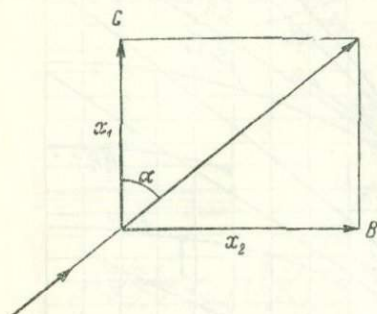
Указанные типы упругих колебаний являются основными, однако ими далеко не ограничивается число отдельных волн, приходящих к сейсмической станции, ибо каждая из этих волн способна к преломлениям и отражениям от различных слоев в Земле и на самой земной поверхности. Отсюда ясно, что сейсмограмма должна представлять собой весьма сложный комплекс колебательных движений, разобраться в которых и является задачей первоначальной обработки сейсмограмм. Для иллюстрации характера колебаний на фиг. 23 приведена некоторая условная схема, на которой буквы *ЗЗ* обозначают часть земной поверхности, *О* — очаг землетрясения, *Е* — его эпицентр, *ОС<sub>1</sub>* и *ОС<sub>2</sub>* — траектории волн *P* и *S*. Диаграмма колебаний дает представление о записи одного и того же землетрясения на различных расстояниях от эпицентра до сейсмической станции *С<sub>1</sub>С<sub>2</sub>*, которое обозначается через  $\Delta_1\Delta_2$ .





дольными волнами, так как их колебания, как уже было сказано, совпадают с направлением распространения сейсмических лучей. Откуда бы ни пришел сейсмический луч к сейсмической станции, его колебания будут записаны всеми тремя сейсмографами, причем каждый сейсмограф запишет ту составляющую колебания, которая

совпадает с направлением свободных перемещений самого маятника сейсмографа.



Фиг. 25. Горизонтальное смещение земной поверхности

Для пояснения этого, представим себе, что по направлению меридиана смещение равно  $x_1$  и направлено с юга на север, а по параллели — смещение  $x_2$  и направлено с запада на восток. Отложив значения  $x_1$  и  $x_2$  по соответствующим направлениям, как показано на

фиг. 25, и построив диагональ прямоугольника со сторонами  $x_1$  и  $x_2$ , получим направление сейсмической волны, которое определяется углом  $\alpha$  по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_2}{x_1}.$$

Правда, при таком решении ошибка в направлении на эпицентр может быть равна  $180^\circ$ , но решение будет вполне точным, если знать, в какую сторону направлено смещение по вертикали.

Итак, при первоначальной обработке сейсмограммы далекого землетрясения необходимо найти на ней вступление волн  $P$ ,  $S$  и  $L$  и установить точное время их вступления, затем определить величины смещения для первых продольных волн, т. е. волн  $P$ , и решить задачу о координатах эпицентра землетрясения. Изложенный метод принадлежит акад. Б. Б. Голицыну.

При обработке данных нескольких сейсмических станций для определения координат эпицентра землетрясения находят эпицентральные расстояния и затем применяют так называемый метод засечек. Состоит он в том, что на

большом глобусе, на который нанесено положение всех сейсмических станций, особым циркулем проводятся окружности, радиусы которых равны их эпицентральному расстояниям  $\Delta$ ; эти окружности пересекаются в некоторой точке, являющейся эпицентром землетрясения. Этот метод дает хорошие результаты при условии точного определения моментов прихода на станцию волн  $P$  и  $S$ .

Конечно, обработка сейсмограмм на этом не заканчивается; необходимо найти вступления всех других волн и определить их физическую природу.

Обработка сейсмограмм осложняется необходимостью определения глубины очага землетрясения. Решение этой задачи возможно при наличии нескольких сейсмических станций, расположенных на сравнительно небольших расстояниях от эпицентра землетрясения. Этим объясняется то, что в наших сейсмических районах (Крым, Кавказ, Средняя Азия) мы имеем сети сейсмических станций, причем число сейсмических станций непрерывно растет.

В последние годы, в результате тщательной обработки сейсмограмм, было обнаружено, что очаг, или фокус, некоторых землетрясений расположен на очень большой глубине, измеряемой несколькими сотнями километров. Эти землетрясения носят название глубокофокусных. В настоящее время разработана особая методика определения глубины очага таких землетрясений по записям одной сейсмической станции.

В нашей стране все научное руководство работой сейсмических станций сосредоточено в Геофизическом институте Академии Наук СССР. Союзные республики, расположенные в сейсмически беспокойных районах, имеют свои республиканские сети сейсмических станций. На центральной станции республики ведется указанная выше предварительная обработка материала и выпускается бюллетень. Результаты предварительной обработки посылаются в центр, где производится их дальнейшая, контрольная обработка и составляется бюллетень сети сейсмических станций СССР. Данные бюллетеня могут быть использованы для различных выводов научно-исследовательского характера.

## ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Распространение крупных, разрушительных землетрясений, происшедших в различное время на различных местах земной поверхности, подчинено некоторой закономерности, которая в основном определяется связью землетрясений с процессами образования горных систем.

Землетрясения происходят в тех областях земной поверхности, где особенно интенсивно выражены линии формирования горных систем, особенно более новых, принадлежащих последней геологической эпохе. Эти области формирования горных систем располагаются по земной поверхности в виде полосы, названной геологами поясом разлома земной поверхности.

Эпицентры землетрясений Европы и Азии, как показывает собранный о них до настоящего времени материал, располагаются именно по этому поясу разлома. Ему соответствуют наиболее значительные известные землетрясения.

Можно сказать, что землетрясения происходят повсюду, где имеются современные нарушения земной поверхности в виде горных систем, и особенно в местах соседства высоких горных систем с большими океанскими впадинами. Все же области земной поверхности, где породы залегают в виде горизонтальных ненарушенных пластов, в сейсмическом отношении вполне спокойны. Эти области называются асейсмическими областями. К ним, в частности, относятся европейская территория СССР и северная часть Сибири.

В подтверждение сказанного, на фиг. 26 приведена схема карты мира с нанесенными на нее областями склад-



чатых горных систем и областей расположения эпицентров землетрясений. Согласно этой карте, установлены две основные подвижные зоны земного шара: первая из них тянется в широтном направлении, проходя через Альпы, Карпаты, Кавказ, Копет-даг, Тянь-шань, Памир, Гималаи, другая — в меридиональном направлении и проходит вдоль обоих берегов Тихого океана. Представленная здесь схема географического распределения землетрясений является весьма общей, без подразделения самих землетрясений на типы по их интенсивности.

Инструментальные данные дают возможность определить эпицентры землетрясений в таких местах, которые недоступны непосредственному изучению, оценить относительную силу землетрясений, а в некоторых случаях и глубину очага. На основании этих данных можно получить представление о распределении сильных и слабых землетрясений, а также землетрясений с глубоким, промежуточным или неглубоким нормальным очагом. Большая работа в этом отношении у нас, в СССР, проделана Н. В. Райко, Е. И. Бюсом, Г. П. Горшковым, Е. Ф. Саваренским, Е. А. Розовой, Н. А. Линден, А. Я. Левицкой и другими.

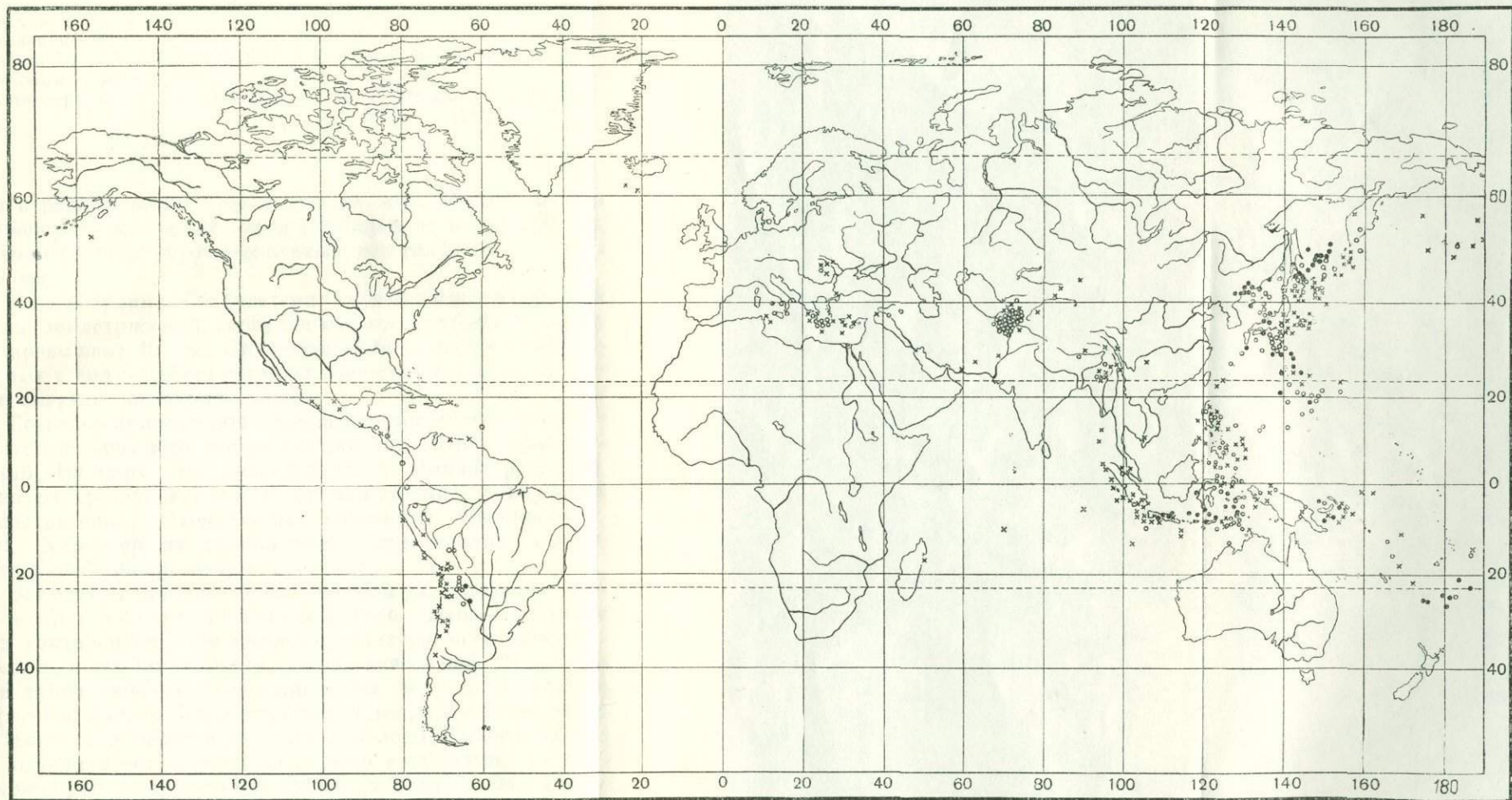
В первую очередь познакомимся с приемами оценки интенсивности землетрясений по инструментальным данным. При некоторых исследованиях вводится шкала, содержащая всего 8,5 баллов интенсивности, с таким расчетом, чтобы каждый полубалл интенсивности соответствовал увеличению энергии землетрясения в 10 раз. Так как таких полубаллов всего 17 ( $8.5 \times 2 = 17$ ), то энергия, выделенная наиболее сильными землетрясениями, в  $10^{17}$  раз больше энергии самого слабого землетрясения в полбалла.

Для оценки интенсивности пользуются величинами наибольшего смещения точек земной поверхности, полученными по записи сейсмических станций, расположенных на некотором определенном расстоянии от эпицентра изучаемого землетрясения.

В зависимости от интенсивности, землетрясения делятся на пять классов (см. табл. на стр. 49).

Кроме классификации по интенсивности, принята еще классификация землетрясений по глубине очага. При этом неглубокими, или «нормальными», считают такие землетрясения, глубина очага которых меньше 60 км; т. о. их





x — глубина фокуса 50-140 км,    o — 150-340 км    • — 350 км и больше

Фиг. 27. Карта распределения глубокофокусных землетрясений (составлена Н. А. Линден)

Класс . . . . .	a		b	c	d	e
Интенсивность, баллы . . . . .	7.8	8.5	7.0—7.7	6.0—7.0	5.3—6.0	До 5.3
Расстояние до эпицентра, км .	Свыше 10 000		До 10 000	До 5000 (90°)	До 5000 (45°)	До 1000 (10°)

очаги расположены в самой земной коре. Землетрясения промежуточные имеют очаги глубиной от 60 до 300 км, а землетрясения глубокофокусные, или глубокие, — более 300 км.

На основании работ советских ученых выделен еще один класс землетрясений, «поверхностных», глубина которых не превышает 10 км. Это добавление оказалось необходимым в силу особенностей их происхождения, о чем будет сказано несколько позже.

Согласно приведенной классификации, составлены карты географического распределения эпицентров землетрясений. На карте, составленной Н. А. Линден (фиг. 27), дано распределение только промежуточных и глубоких землетрясений, объединенных названием глубокофокусных. Характер их расположения представляет исключительно большой интерес.

Эпицентры глубоких землетрясений расположены только в области береговой полосы Тихого океана и частично под континентом. Что касается землетрясений промежуточных, с глубиной очага, не превышающей 300 км, то они также особенно многочисленны в области этой же береговой полосы. Этим подчеркивается, что сейсмическая активность в области береговой полосы Тихого океана не ограничивается очень большими глубинами, но проявляется на всех глубинах (от 10 до 800 км). Очаги промежуточных землетрясений были найдены и под поверхностью континентов. Например, целая группа таких очагов находится в Северном Афганистане и на Карпатах. Советскими сейсмологами обнаружены также промежуточные очаги и в Средней Азии. Весьма возможно, что при дальнейшем расширении сети сейсмических станций такие очаги будут найдены под всеми крупными горными системами, так как, с изложенной ранее точки зрения,

образование горных систем есть результат процессов не только в земной коре, но главным образом в веществе подкоровом.

Географическое распределение эпицентров нормальных землетрясений с глубиной очага, не превышающей 60 км, полученное на основании инструментальных данных, представлено на фиг. 28. Как видим, наиболее активной является береговая область Тихого океана, а также пояс разлома, проходящий через горные системы материков Европы и Азии. В этих местах сосредоточены эпицентры почти всех землетрясений, отнесенных к классу *a*. Эпицентры более слабых землетрясений, отнесенных к классу *b*, располагаются не только в тех же местах, что и землетрясения класса *a*, но и за пределами их. Так, довольно много их имеется в Индийском и Атлантическом океанах.

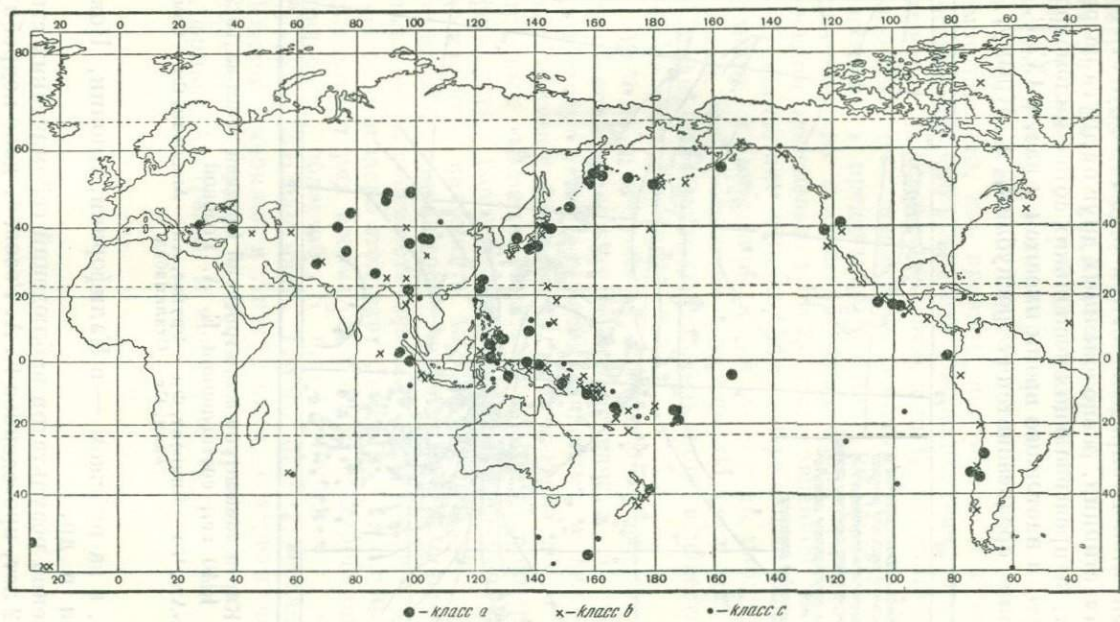
При рассмотрении этих карт невольно останавливает наше внимание почти полная асейсмичность дна Тихого океана вдали от его берегов. На огромном пространстве к востоку от Курильских и Марианских островов и до западных берегов Северной и Южной Америки нет ни одного эпицентра. Эта часть земного шара находится в состоянии тектонического покоя. Нет сомнения, что это не является случайностью, а связано с историей развития и деформирования земной поверхности, основные пути которых еще не выяснены.

Из рассмотрения обеих карт географического распределения эпицентров землетрясений можно сделать следующее заключение:

1. Область берегов Тихого океана является наиболее активной в сейсмическом отношении; здесь происходит большая часть нормальных землетрясений, большинство промежуточных и все наиболее глубокие.

2. Пояс разлома, проходящий через горные системы Европы и Азии, содержит остальную часть промежуточных землетрясений и наиболее интенсивные (класс *a*) нормальные землетрясения.

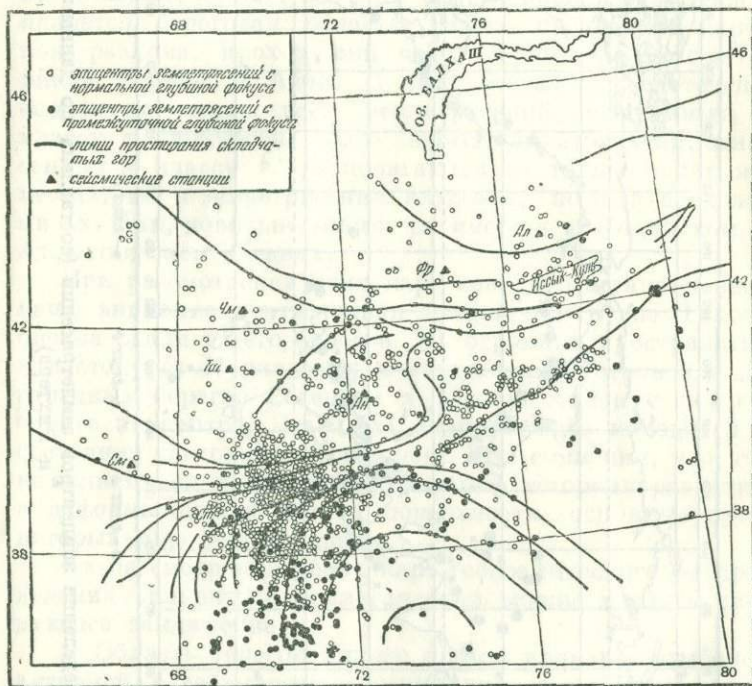
Что касается всех остальных нормальных и поверхностных землетрясений, то об их распределении еще нельзя составить полного представления. Это объясняется тем, что огромное большинство нормальных землетрясений отличается небольшой интенсивностью и для их



Фиг. 28. Карта распределения эпицентров землетрясений (составлена по данным Гутенберга и Рихтера)

4\*

инструментального определения необходимо иметь сеть сейсмических станций, расположенных друг от друга на расстояниях, не превышающих нескольких сотен километров. Такие сети в настоящее время имеются у нас, в СССР, на территории среднеазиатских республик, в Крыму, на



Фиг. 29. Карта эпицентров землетрясений Средней Азии за 1929—1940 гг., составленная Е. А. Розовой

Ал — Алма-Ата, Чм — Чимкент, Фр — Фрунзе, Ан — Андижан, См — Самарканд, Ст — Сталинабад

Кавказе, а за рубежом — в Калифорнии, Японии, Новой Зеландии и др.

Изучение результатов наблюдений сейсмических станций за 12 лет, проведенное Е. А. Розовой, дало подробную картину распределения эпицентров нормальных и промежуточных землетрясений в Средней Азии (фиг. 29). Со-

гласно этим данным, промежуточные землетрясения концентрируются в пределах Памира и Гиндукуша и в меньшей степени в хребтах Тянь-шаня и его отрогах. В области между этими горными системами, т. е. в пределах так называемой Таджикистанской депрессии, очаги землетрясений, как правило, неглубокие и даже поверхностные. Можно высказать предположение, что эти очаги вызваны сдавливанием отложений, заполняющих Таджикистанскую депрессию, надвигающимся Памирским массивом и представляют собой результаты разломов, происшедших в самых верхних слоях земной коры. Со времени появления карты, представленной на фиг. 29, в Таджикистане открыто еще четыре новые сейсмические станции, и ближайшие после этого годы наблюдений показали, что, благодаря уплотнению сети сейсмических станций, было обнаружено очень много неизвестных ранее очагов землетрясений.

Работа по детальному изучению слабых местных землетрясений, в сущности, только начата, но ее результаты могут оказаться весьма важными в деле дальнейшего понимания процессов, протекающих до и во время крупных землетрясений. В качестве примера географического распределения эпицентров землетрясений достаточно напомнить карту на фиг. 26, где вместо отдельных эпицентров нанесены сейсмически активные зоны с соответствующим подразделением по глубине очагов. Согласно этой карте, сейсмически активные пояса окаймляют ряд весьма обширных, изолированных асейсмических областей. К ним принадлежат, как было указано, большая часть Тихого океана, область между Южной Америкой и Антарктикой, северная часть континентов Европы и Азии, центральная и западная Африка, Австралия и некоторые другие области.

## ЧИСЛО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Число землетрясений различного типа и классов представляет собой интересную и важную характеристику сейсмической активности различных стран и всего земного шара.

К сожалению, сведения весьма неполны по той причине, что, вследствие редкой мировой сети сейсмических станций, класс слабых землетрясений регистрируется только частично. Подробные сведения о числе землетрясений имеются для Средней Азии. Они получены Е. А. Розовой путем обработки материала почти 1500 землетрясений с 1929 по 1940 г.) и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Глубина очага, км . . . . .	0—10	15—20	25—40	45—50	60	100	200	300
Число землетрясений, отмеченных сейсмическими станциями . . . . .	396	20	462	22	70	60	50	9
Из них ощущалось людьми	70	2	66	—	16	6	14	4

Согласно этой таблице, 36 % всех землетрясений составляют поверхностные землетрясения, т. е. с глубиной очага 0—10 км, 46 % — нормальные землетрясения, с очагом, находящимся в земной коре, и остальные 18 % — промежуточные землетрясения. При этом с увеличением глубины очага число землетрясений уменьшается.

Гутенберг и Рихтер, на основе инструментальных данных мировой сети сейсмических станций, произвели подсчет числа промежуточных и глубоких землетрясений для всего земного шара за 10 лет — с 1931 по 1940 г. Результаты их подсчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Область	Глубина очага, км												
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
	Число землетрясений												
Мексика, Центральная Америка . . .	20	4	2		1								
Южная Америка . .	46	22	18	7	2					1	5	11	
Новая Зеландия, Тонга, Самоа . . .	11	3	3	1	2	1	4		6	9	10	5	1
От Ново-Гебридских островов до Ново- вой Гвинеи . . . .	22	16	9	1	2	3	3	1					
Зондские о-ва . . .	21	12	9	1		1	3		1		10	1	5
От о-ва Целебеса до Минданао . . . . .	3	6	10	2	4		1		2	1	3	1	1
От Лиссона до Кюсю	10	7	4	3									
Японские о-ва . . .	33	26	12	5	12	27	25	12	14	14	6	1	
Гиндукуш . . . . .	1		14	25									
Другие области . .	11	13	1	1									
Всего . . . . .	178	109	82	46	23	32	36	13	23	25	34	19	7

Несмотря на некоторую неполноту, эта таблица представляет интерес, так как дает возможность относительного сопоставления чисел землетрясений на разных глубинах.

Из последней, итоговой строчки можно видеть, что число землетрясений до глубины 300 км быстро падает, а далее остается приблизительно одинаковым, если не считать самых больших глубин.

Для слабых, местных землетрясений, как уже было указано, сколько-нибудь точных подсчетов сделать пока не удалось.

В табл. 3 приведена зависимость числа землетрясений от их балльности.



Таблица 3

Землетрясения	Класс	Интенсивность, баллы	Число в год
Катастрофические землетрясения .	<i>a</i>	8 и более	1
Сильные разрушительные землетрясения . . . . .	<i>b</i>	7—7.9	10
Разрушительные землетрясения . .	<i>c</i>	6.9—6.0	100
Землетрясения, сопровождающиеся повреждениями зданий . . . . .	<i>d</i>	5.9—5.0	1 000
Довольно слабые толчки . . . . .	<i>e</i>	4.9—4.0	10 000
Местные, слабо ощутимые землетрясения . . . . .		3.9—3.0	100 000

Всего на Земле происходит, вероятно, около нескольких сотен тысяч землетрясений в год.

## МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Землетрясения, как уже было сказано, тесно связаны с процессами формирования горных систем и являются результатом мгновенных сдвигов, скольжения или кручения вещества под влиянием постоянно действующих сил. Географическое распределение землетрясений вполне подтверждает эту мысль. Это подтверждают также и резкие нарушения земного рельефа, которые были обнаружены после некоторых катастрофических и разрушительных землетрясений.

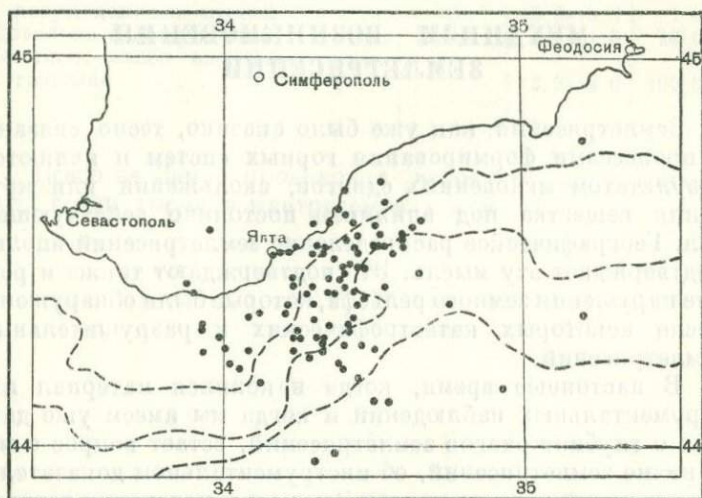
В настоящее время, когда накопился материал инструментальных наблюдений и когда мы имеем уже данные о глубине очагов землетрясений, встает вопрос о механизме землетрясений, об инструментальном доказательстве явлений сдвигов внутри Земли и о выяснении деталей процесса землетрясения. Разрешение этого вопроса приобретает в последнее время все большее и большее значение, и некоторые результаты в этом направлении уже имеются. Нет сомнения, что механизм землетрясения связан теснейшим образом с различными физическими характеристиками очага, поэтому особенно интересно более подробно изучить форму очагов землетрясения, характер движения вещества в них, их расположение в пространстве и пр.

Определение положения и глубины очагов крымских землетрясений, произведенное советскими сейсмологами в результате 12 лет наблюдений, дало возможность сделать следующие выводы:

Во-первых, эпицентры крымских землетрясений расположены на территории Черного моря, к югу и юго-

востоку от оконечности Крымского полуострова, на расстоянии в среднем около 40 км. Из этого следует, что данные районы сейсмически активны. Это связано, в свою очередь, с процессом формирования крымской горной системы, происходящим в земной коре или подкоровом веществе.

Во-вторых, сами очаги этих землетрясений располагаются не хаотично, а заключены в некотором, довольно

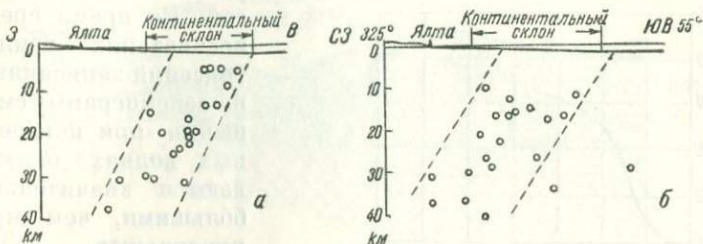


Фиг. 30. Эпицентры крымских землетрясений 1928—1941 гг.  
(составила А. Я. Левицкая).

широком пласте, идущем от дна Черного моря под Крымский полуостров.

Фиг. 30 и 31 подтверждают сказанное. На основании этих данных можно сделать предположение о том, что крымские землетрясения порождаются последовательными перемещениями массива крымских гор по направлению к югу, к Черному морю. Вероятность этого предположения подтверждается не только расположением очагов, но и основана на ряде геологических признаков. С этой точки зрения, каждое землетрясение следует рассматривать именно как процесс мгновенного сдвига, порождающего главным образом поперечные сейсмические волны. Огром-

ное большинство сейсмограмм крымских землетрясений указывает также на то, что поперечные волны являются значительно более сильными, чем продольные. Следует при этом отметить, что все очаги крымских землетрясений залегают неглубоко, не выходя за пределы земной коры. Это, конечно, еще не означает, что сами источники движения Крымских горных массивов также должны находиться



Фиг. 31. Распределение очагов крымских землетрясений

в земной коре; наоборот, вполне возможно, что медленное, но непрерывное давление происходит именно в подкоровом веществе.

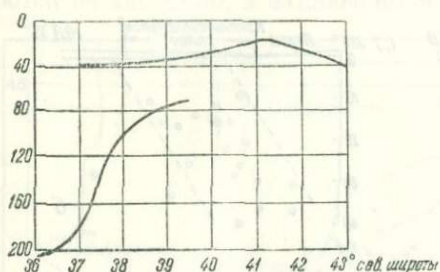
Другой пример касается расположения очагов среднеазиатских землетрясений, изученных также советскими сейсмологами. Интерпретация этих материалов гораздо сложнее, так как в Средней Азии сами формы складчатости и характер движения масс вещества, слагающего горные системы, гораздо сложнее, чем в Крыму.

Если сделать схематические разрезы земли с севера на юг в этих областях, то можно получить весьма интересную картину распределения очагов среднеазиатских землетрясений.

Для примера достаточно привести такой разрез вдоль меридиана  $70^\circ$  восточной долготы и между параллелями  $36^\circ$  и  $43^\circ$  северной широты. На фиг. 32 кривыми показано преобладающее расположение очагов землетрясений. Как видим, почти по всему разрезу существуют очаги нормальных землетрясений, однако чем дальше к югу, тем больше появляется еще и очагов промежуточных, глубина которых возрастает по направлению на юг.

Если сопоставить это распределение с геологической картой местности, то можно заключить, что глубина оча-

гов возрастает под горными массивами Памира. В общих чертах можно представить, что формирование Гиндукуша и Памира обязано своим происхождением медленному движению подкорковых масс, в процессе которого происходят разрывы и сдвиги не только в сминающихся массах земной коры, но и в самом подкорковом веществе. Этим следует объяснить наличие нескольких ярусов в



Фиг. 32. Средние линии глубин очагов землетрясений по меридиану 70° восточной долготы

расположении очагов. Во время среднеазиатских землетрясений записанные на сейсмограмму смещения при поперечных волнах оказываются значительно большими, чем при продольных. Это лишним раз подтверждает преобладание импульсов сдвигового характера.

К этой же схеме образования землетрясения надвигом одних геологических структур на другие относится пример землетрясения 1939 г. в области хребта Петра I с очагом на глубине всего 2—3 км. Геологические исследования, проведенные сотрудником Гармской экспедиции Геофизического института Академии Наук СССР И. Е. Губиным, позволили составить подробную картину формирования очага сдвигом верхних свит по поверхности кристаллического основания, как это показано на фиг. 33.

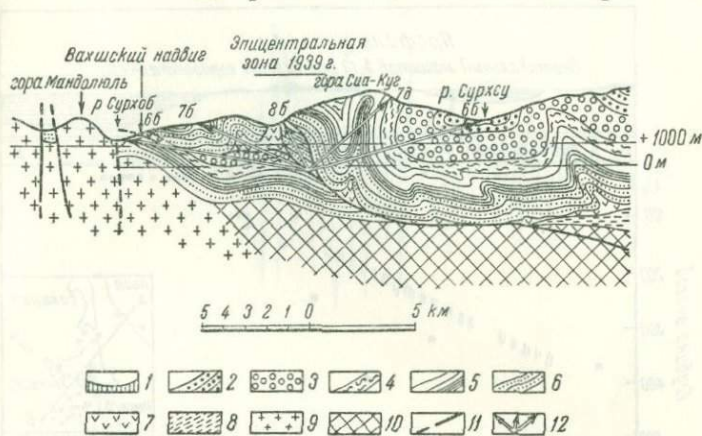
Третий пример относится к очагам глубоких землетрясений в области береговой полосы Тихого океана, изученной Гутенбергом и Рихтером.

Согласно карте распределения эпицентров глубокофокусных землетрясений на фиг. 29, очень глубокие очаги встречаются не только под дном Тихого океана, но и под континентом Азии, вблизи его береговой полосы.

Гутенберг составил профильный разрез расположения очагов через остров Хоккайдо, Японское море и береговую полосу Азии. Расположение очагов показано на фиг. 34. Оно напоминает расположение очагов среднеазиатских

землетрясений, только глубина здесь значительно больше и в отдельных случаях достигает 600 км.

Трудно сделать какое-нибудь определенное заключение без дополнительных сведений о геологической структуре этих мест, но по аналогии можно высказать предположение, что и здесь имеются области скольжения как в подкоровом веществе на поверхностях



Фиг. 33. Геологический профиль северного склона хребта Петра I. Землетрясение 1939 г. (составил И. Е. Губин в 1946 г.). 1—8 — поверхностные слои; 9 — граниты; 10 — древние отложения и изверженные породы; 11 — линии разрывов и надвигов; 12 — схема землетрясения; двойные линии — направления сейсмических лучей.

контакта между материковым и подкоровым веществом, так и в самой земной коре. Эти примеры являются хорошей иллюстрацией того, что может дать инструментальное изучение землетрясений. Однако это далеко еще не все. Неоднократно упоминалось, что поперечная сейсмическая волна, которая порождается сдвиговым процессом, гораздо больше, чем волна продольная, характеризующая так называемую объемную деформацию, т. е. процесс сжатия и разрежения материи. Представим себе, что в очаге произошло мгновенное сжатие вещества, которое возбуждает основную продольную сейсмическую волну. Ее энергия будет больше или, в крайнем случае, равна энергии попереч-

ной волны, ибо последняя возникает в веществе как естественное следствие первой. Картина будет иной, если в очаге начальный импульс создает основную поперечную волну. Это будет в том случае, когда источником землетрясения явится процесс сдвига или кручения вещества.

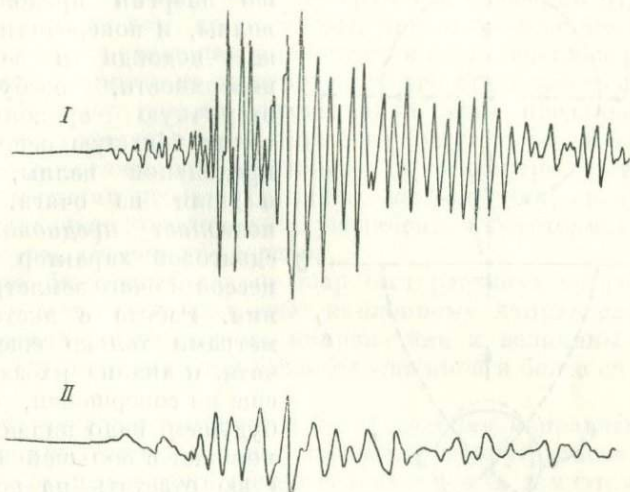


Фиг. 34. Расположения очагов землетрясений по профилю через остров Хоккайдо и берега азиатского материка

Исследования амплитуд продольных и поперечных волн только что начались. Установленные на некоторых советских сейсмических станциях точные сейсмографы Кириноса облегчают разрешение этой задачи. Полученные при помощи их данные о близких землетрясениях не оставляют сомнения в значительном преобладании энергии поперечных колебаний. Так, например, для последующих землетрясений, после главного Ашхабадского в 1948 г., было определено, что энергия поперечных колебаний, дошедших до сейсмической станции «Ашхабад», в несколько раз больше энергии продольных колебаний. Из исследованных случаев только в одном продольные волны оказались примерно одинаковыми с поперечными по своей энергии. Это исключение все же представляет боль-

шой интерес, так как показывает, что наряду со сдвиговым характером импульса в очаге землетрясения возможен и импульс сжатия или разрежения.

Будущие более подробные исследования этого обстоятельства могут раскрыть не только детали процесса возникновения очага, но и связь того или иного характера импульсов с геологической структурой места.

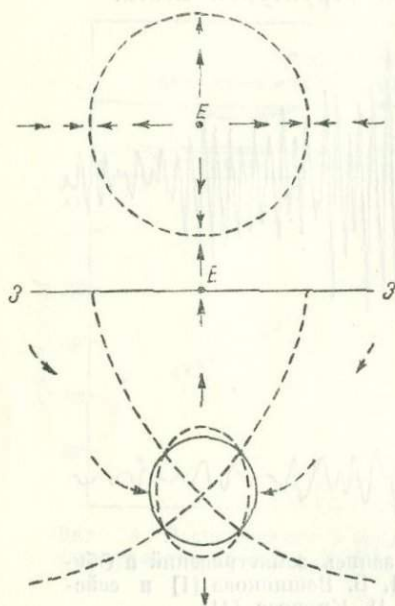


Фиг. 35. Одновременная запись землетрясений в Оби-Гарме экстенсометром Н. В. Вешнякова [I] и сейсмографом Д. П. Кирноса [II]

В 1947 г. впервые была получена запись землетрясения особым прибором — экстенсометром, сконструированным советским сейсмологом Н. В. Вешняковым и установленным на одной из сейсмических станций Таджикистана. Прибор этот мог записывать только деформации сжатия или растяжения объема, т. е. только деформации в продольных волнах. Можно было ожидать, что такой прибор, записывая землетрясение, даст наибольшее смещение в моменты прихода именно продольной объемной волны и не запишет или запишет весьма слабые смещения в момент прихода поперечной волны, т. е. волны сдвига.



Примеры записей землетрясения, произведенных экстенсометром Вешнякова и сейсмографом Кириоса, показаны на фиг. 35. Они подтверждают, что объемная деформация последовательно нарастает именно в волнах поперечных, а не продольных. Возможное объяснение этого факта заключается в том, что энергия поперечной волны



Фиг. 36. Фигура деформации в очаге землетрясения и распределение направления и силы первых продольных толчков

была во много раз больше энергии продольной волны, и поперечная волна, подойдя к земной поверхности, возбудила вторичную продольную волну, большую основной продольной волны, вышедший из очага. Это позволяет предположить сдвиговой характер процессов в очаге землетрясения. Работа с экстенсометрами только еще начата, и анализ их записи еще не совершенен, но в будущем, надо надеяться, поможет с большей ясностью ответить на вопрос о характере движений в очаге.

В настоящее время советскими учеными ведется большая работа по изучению тех возможных сил в очаге, которые способны вызвать на земной поверхности

колебания, записываемые сейсмографами.

Несколько иное направление работ по изучению механизма возникновения землетрясений основано на определении направления смещений земной поверхности вокруг эпицентра землетрясения. Исходя из сейсмических наблюдений на поверхности, можно следующим образом определить характер деформаций в самом очаге. Представим себе, что область очага землетрясения представляла собой некоторый объем вещества в форме шара. Допустим,

что в момент землетрясения под влиянием внутренних сил этот шар был мгновенно сжат таким образом, что он растянулся по вертикали и сжался с боков. Тогда можно ожидать, что сейсмические станции, расположенные на земной поверхности вокруг эпицентра, запишут различные направления смещения почвы при первом толчке. Действительно, как показано на фиг. 36, в этом случае около эпицентра на земной поверхности смещения будут направлены от него по радиусам; при этом величина горизонтального смещения уменьшается с увеличением расстояния от эпицентра до некоторого его предельного размера. На окружности, проведенной этим предельным радиусом, горизонтальные смещения будут отсутствовать. Однако с увеличением расстояния от эпицентра появляются смещения противоположного направления, сначала возрастающие по величине с увеличением расстояния от эпицентра, а затем убывающие.

Если бы первоначально шар был растянут по горизонтали или по какому-либо наклонному направлению, то картина распределения направления и величины горизонтального смещения была бы уже иной и более сложной.

Действительные причины распределения направления и величины горизонтальных смещений вокруг эпицентра при некоторых (очень немногих) изученных землетрясениях совпадают с указанным здесь предположением о различных формах мгновенного изменения очага.

Таким образом, с помощью изложенного способа можно объяснить механизм возникновения землетрясений. Для подробного изучения механизма возникновения землетрясения необходимо иметь весьма густую сеть сейсмических станций в эпицентральных областях.

## СВЯЗЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ДРУГИМИ ЯВЛЕНИЯМИ ПРИРОДЫ

Изменение числа и силы землетрясений не подчиняется какой-либо строгой периодичности. Бывают годы, весьма богатые сильными землетрясениями; они сменяются годами относительного покоя.

Это заставило многих ученых искать связи землетрясений с другими явлениями природы. Что такая связь существует, не подлежит сомнению, но эта связь, вероятно, многообразна и зависит от многих факторов, из которых большинство являются второстепенным; поэтому выделение зависимости от каждого из них представляет большую трудность. Давно было замечено, например, что землетрясения происходят гораздо чаще зимой, чем летом.



Фиг. 37. Число землетрясений по месяцам года

Пунктир — ощущаемые землетрясения. Сплошная линия — зарегистрированные катастрофические землетрясения.

Многочисленные статистические сводки действительно подтверждают этот факт. Сопоставление числа землетрясений в северном и южном полушариях с временами года

(фиг. 37) дает довольно убедительную картину.

Такую связь следует объяснить тем, что в зимний

период характер циклонической погоды более резко выражен. Атмосфера давит на каждый квадратный метр земной поверхности с силой несколько более 10 т. Если допустить, что давление в центральной области циклона в среднем понижено против нормального на 10 мм ртутного столба, то это значит, что на каждом квадратном метре земной поверхности давление понизилось на 136 кг.

Следовательно, можно себе представить, что подобное или еще большее изменение давления если и не является главным источником сил, действующих при возникновении землетрясения, все же может послужить вспомогательным средством, содействуя проявлению внутренних сил, напряжение которых уже близко к нарушению равновесия в земных слоях. Эта мысль была положена в основу поисков связи землетрясений не с самим давлением атмосферы, а с его изменениями. Зависимость эта выражена в табл. 4.

Таблица 4

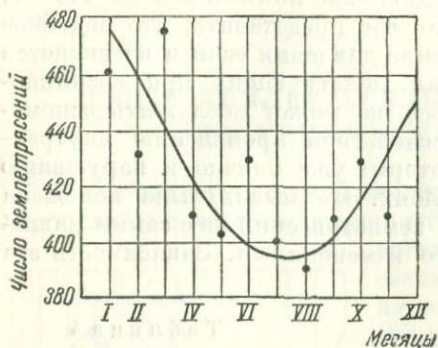
Изменение атмосферного давления в мм рт. ст. . . . .	12.6	8.8	5.2	1.6	0.4
Число землетрясений . .	148	128	113	103	97

Е. А. Розова, сопоставляя землетрясения Средней Азии с месяцами года, пришла также к заключению об уменьшении числа землетрясений в летние месяцы. Полученный ею график показан на фиг. 38. Составленная ею зависимость для числа землетрясений с поверхностным очагом не только повторяет, но еще более резко подчеркивает уже приведенную зависимость от месяцев года.

Для очагов нормальной глубины эта зависимость теряет свою значимость, а для промежуточных землетрясений наибольшее число землетрясений приходится на осенние месяцы. Отчасти это понятно, так как изменение атмосферного давления наибольшее воздействие оказывает на процессы в верхних слоях земной коры.

Многократно наблюдались нарушения магнитного поля во время землетрясений. Так, при землетрясении 1862 г. в г. Селенгинске магнитное склонение изменилось на  $3\frac{1}{2}^{\circ}$ .

В 1840 г. при землетрясении в Чехословакии было замечено возмущение всех магнитных элементов. В Италии и Японии при многих землетрясениях также отмечались возмущения магнитных элементов и особенно большие в магнитном склонении. При землетрясении в Андалузии в 1884 г. было отмечено нарушение магнитных элементов



Фиг. 38. Число землетрясений в Средней Азии по месяцам года

в магнитных обсерваториях в Париже, Лиссабоне и Вильгельмсгафене. При этом в Лиссабоне нарушение магнитных элементов отмечено было еще за два дня до землетрясения. Таких примеров можно привести немало.

Некоторыми иностранными авторами указывалось, что в области сильных и частых землетрясений увеличен «вековой ход»

изменения магнитных элементов.

Указанные факты заставляют нас считать, что связь между землетрясениями и нарушением магнитного поля, несомненно, существует, но наблюдается далеко не во всех случаях. Очень вероятно, что такие нарушения существуют при большинстве землетрясений, но вследствие их малой величины до настоящего времени не обнаружены.

Задачей современной науки является более подробное выяснение этой зависимости с помощью специальных, весьма чувствительных приборов для измерения магнитных полей. С целью подобного же выяснения в Советском Союзе предпринята подробная магнитная съемка большого сейсмического района. Повторное проведение ее после одного или нескольких землетрясений позволит установить наличие магнитных возмущений и их величину.

Какие же имеются предпосылки для подобной связи между землетрясениями и изменением магнитного поля? Первая и естественная предпосылка заключается в том, что смещение пород внутри земной коры, а возможно

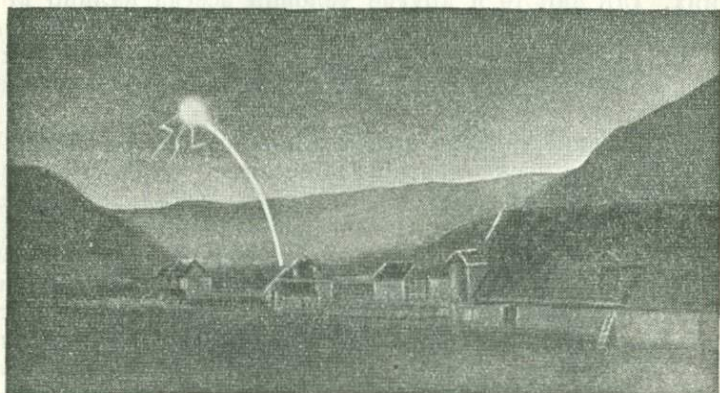
и в подкоровом веществе, создает условия для перераспределения пород, обладающих магнитными свойствами, что не может в той или иной мере не отразиться на изменении магнитного поля земной поверхности.

Другая предпосылка связана с открытым в лабораторных условиях свойством изменения магнитности некоторых образцов при сжатиях и колебательных движениях. Так как те и другие условия всегда налицо при землетрясениях, а сжатия даже предваряют землетрясения, то не исключена возможность подобного влияния и на изменение магнитного поля Земли, наблюдаемого на земной поверхности.

Оптические явления и явления атмосферного электричества также неоднократно наблюдались и записывались в разных странах как во время землетрясения, так иногда и перед землетрясением. Оптические явления заключаются в том, что незадолго до землетрясения или во время землетрясения многие наблюдатели отмечают особое свечение в виде широких, туманно светящихся полос. Иногда это свечение кажется мерцающим и принимает желтый или зеленый оттенок. Другие наблюдатели описывают явление свечения в виде лучей, сравнивая их с полярным сиянием. Во время землетрясения в Ташкенте в 1946 г. проф. Е. А. Чернявский отметил слабое свечение. При землетрясении в Ашхабаде 6 октября 1948 г. многими жителями было замечено сияние. Наблюдали его также некоторые жители курорта Фирюза, находящегося в 40 км к юго-западу от Ашхабада. Сияние было замечено над горами.

Как же объяснить эти явления свечения? Можно предположить две причины. Одна из них — удары и трение между частями пород, в результате которых развивается настолько большое тепло, что отдельные частицы могут раскалиться до температуры свечения, наподобие тех искр, которые вылетают из-под копыт лошадей при ударе о каменную мостовую, только в соответственно измененном масштабе. Представление о таком свечении может дать рисунок Концельмана — одного из наблюдателей этого явления при землетрясении в Германии в 1911 г. (фиг. 39). В некоторых случаях не исключена возможность вспыхивания горючих газов, выделяющихся из трещин в земле во время землетрясения.

Вторая причина, как указывает проф. Е. А. Чернявский, может заключаться в образовании исключительно больших градиентов потенциала в атмосфере. Причина этого, по его предположению, заключается в том, что некоторые металлы, при температуре, близкой к температуре красного каления, т. е. порядка нескольких сот



Фиг. 39. Световое явление при землетрясении 1911 г. в Германии

градусов, при давлении в несколько десятков атмосфер выделяют из себя положительные заряды (ионы). Особенно это явление относится к железу, имеющему примеси щелочных металлов (около 1%). Если представить существование железа в очаге землетрясений на глубине порядка нескольких километров, то там при наличии наблюдающегося повсюду повышения температуры на  $3^{\circ}$  на каждые 100 м глубины температура повысится до белого каления, и железо начнет выделять отрицательные заряды. С другой стороны, металл, теряющий положительный или отрицательный заряд, сам заряжается отрицательно или положительно и может индуктивно передавать заряды на поверхность Земли. Эти процессы могут создать ненормально высокое напряжение электрического поля атмосферы вблизи земной поверхности, которое и проявляется в виде светящихся разрядов с различных остроконечных предметов (вершин гор, выступов зданий и пр.). По-

добные тихие разряды излучают слабый желто-зеленый мерцающий свет, как это и было замечено во время землетрясений.

Проф. Е. А. Чернявский имел возможность наблюдать необыкновенно большое напряжение электрического потенциала в 1925 г. за два часа до разрушительного землетрясения, в 120 км от Джалал-Абада. При этом листочки электроскопа заряжались в течение 1 сек вместо 10—12 сек, и настолько сильно, что касались арматуры, спадали и немедленно же снова расходились. Через 2 ч. 24 м. после электрической бури в Джалал-Абаде ощутился первый толчок силой в 4 балла, а еще через полтора часа произошел второй толчок, ощущавшийся также в Джалал-Абаде, силой в 6 баллов и сопровождавшийся подземным гулом. Подобное же явление нарушения нормального хода напряжения электрического потенциала было обнаружено в Ташкенте при разрушительном землетрясении в Чаткальском хребте в ноябре 1946 г. Указанную весьма интересную зависимость все же еще нельзя считать точно установленной, и необходимо дальнейшее ее изучение.

Многие землетрясения предваряются или сопровождаются звуками в виде гула или шума низкой частоты. Как замечено, сила звука не зависит от силы землетрясения: иногда при слабых землетрясениях гул значительнее, чем при землетрясениях сильных. Были даже зарегистрированы случаи возникновения подземного гула без заметных колебаний почвы.

Звуковые явления происходят в твердой коре, и именно в земной коре находится основная причина звука, однако звуки бывают слышны и в воде, и в воздухе. Самая причина звука при землетрясении заключается в колебаниях земных слоев с весьма малым периодом (большая частота колебаний), происходящих в момент землетрясения в очаге. Весьма вероятно, что вначале звуковая волна приходит к месту наблюдения из очага землетрясения непосредственно по твердой земной коре. К эпицентру землетрясения и к другим точкам земной поверхности также приходят звуковые волны. Они возбуждают, в свою очередь, звуковые волны в воздухе, которые далее распространяются вдоль земной поверхности и также доходят до места наблюдения. Таким образом, в месте наблю-



дения получается довольно сложное звуковое явление, продолжающееся в течение нескольких секунд.

Для оценки звуковых явлений при землетрясениях можно применить следующую пятибалльную шкалу:

1. Слабый гул, слышимый только во время полного покоя, при прикладывании уха к земле.

2. Слабый гул, слышимый в воздухе; на земле гул слышен лучше.

3. Гул средней силы, слышимый даже в закрытых помещениях.

4. Сильный гул, вызывающий беспокойство у людей.

5. Очень сильный гул и гром, вызывающий у людей сильное беспокойство и страх.

В связи с недостатком точных наблюдений, картину распределения звука на земной поверхности установить до настоящего времени не удалось. Есть лишь указание на крайнюю сложность такого распределения.

Наконец, нельзя не упомянуть о связи между землетрясениями, вращением Земли и лунными фазами, которую нашли некоторые ученые. Заключение получены противоречивые. Сторонники этой связи указывали на жидкое состояние вещества во внутренней части Земли и на приливные явления в нем под влиянием притяжения Луны и Солнца.

В настоящее время инструментальными наблюдениями установлено существование приливов и отливов земной коры. Однако величина их настолько незначительна, что трудно сделать какой-либо вывод. Для решения этой задачи необходимо подвергнуть систематической обработке огромный материал наблюдений, чего в полной мере никто еще не предпринимал.

## ПРЕДСКАЗАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Вопросы предсказания землетрясения, или, как иногда говорят, прогноза землетрясений, являются наиболее важными, и к разрешению их неоднократно возвращалась мысль ученых.

Нетрудно понять важность этих вопросов, если вспомнить о многих тысячах погибших людей, о разрушенных строениях и о гибели больших материальных богатств, накопленных трудами людей. Ведь если бы мы могли заранее, хотя бы за короткий срок, узнать о предстоящем землетрясении, то можно было бы принять меры к сохранению жизни людей.

Вопросы прогноза землетрясений рассматривались в двух направлениях: прогноз места и силы возможного землетрясения без указания времени его возникновения и прогноз момента землетрясения на некоторой территории.

Прогноз землетрясения по первому направлению можно считать разрешенным, хотя и требующим некоторых поправок в связи с новыми геологическими и сейсмическими данными. Этот прогноз основан на обработке большого систематического материала непосредственных наблюдений землетрясений в течение многих лет. Конечно, однородного материала для всех точек сейсмически беспокойной области собрать нельзя, однако для некоторых основных мест, например для крупных городов, имеется весьма богатый материал.

На основе этого статистического материала мы всегда можем указать, с какой наибольшей силой проявилось землетрясение в том или ином месте и какова частота сильных и разрушительных землетрясений. Если эти

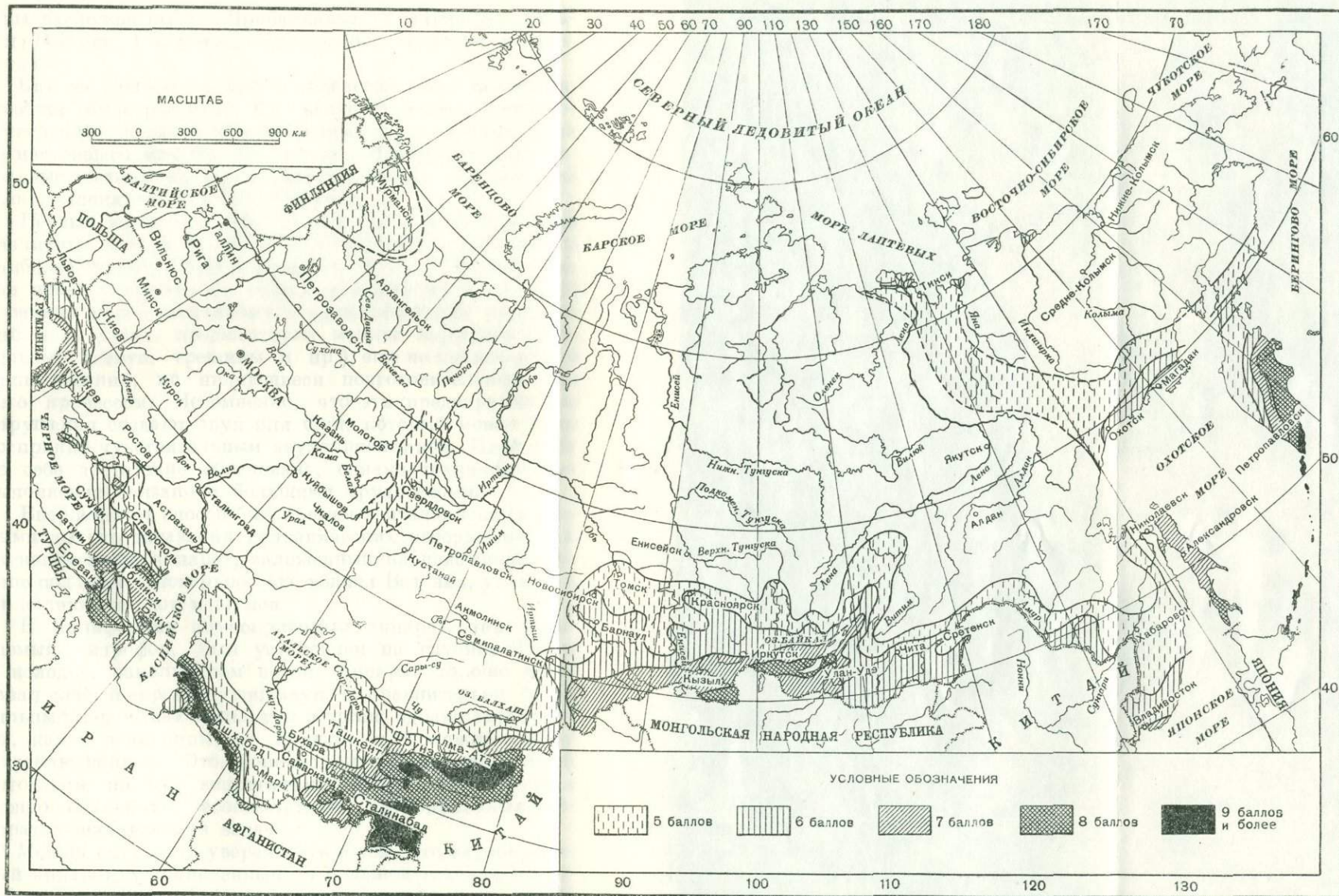
данные нанести на географическую карту изучаемой страны или всего земного шара, то можно на ней выделить, например, те области, где возможны землетрясения в 12, 11, 10, 9 и менее баллов.

Составление таких карт, однако, сопряжено с очень большими трудностями, именно по причине неоднородности материала, собранного в различных местах изучаемой территории. Поэтому во время составления карт, при вычерчивании областей различной балльности приходится учитывать геологическую обстановку данной области, а также использовать изосейсты, получаемые при изучении отдельных землетрясений. Действительно, если изобразить на карте с помощью изосейст несколько землетрясений, происходивших на одной и той же территории, то из сопоставления изосейст с геологическим строением данного места можно выделить на этой территории эпицентральные области землетрясений одинаковой балльности.

В 1937 г. была составлена карта сейсмического районирования территории СССР (сост. Г. П. Горшковым). Она была рассмотрена на специальной конференции в Ереване в 1948 г. и, после внесения в нее некоторых дополнений, утверждена. Карта сейсмического районирования представляет собой материал весьма большой значимости, ибо на основании его можно определить балльность любого места на территории СССР, что весьма важно для разработки антисейсмических мероприятий при строительстве.

Карта сейсмического районирования территории СССР, в ее последнем варианте, представлена на фиг. 40. Мы видим, что Советский Союз имеет значительную территорию, подверженную разрушительным землетрясениям, преимущественно располагающуюся по нашим южным границам и соприкасающуюся также с сейсмически неспокойными территориями соседних с нами государств.

На нашем западе сейсмически неспокойная часть территории падает на Карпаты, далее она проходит на восток через Крым, Кавказ, Каспийское море, Копет-даг, Тянь-шань, Памир и их ответвления. Таким образом, территория всех наших среднеазиатских республик сейсмична, а некоторые места при этом относятся к зонам весьма высокой балльности. На востоке сейсмически неспокойные



Фиг. 40. Схема сейсмического районирования СССР 1949 г.

Составил Г. П. Горшнов при участии И. В. Губина, А. Я. Левицкой, Н. А. Линден, С. В. Медведева, Е. А. Розовой, А. Д. Сабининой, Е. Ф. Саваренского, В. Г. Тищенко и др., под редакцией проф. В. Ф. Бончювского

зоны расположены в Прибайкалье, а также на Дальнем Востоке, Сахалине, Курильских островах и Камчатке.

Как же решается вопрос с прогнозом момента возникновения землетрясения? К сожалению, несмотря на многочисленные попытки ученых разных стран, эта проблема до настоящего времени не решена. Имеются только отдельные достижения в этой области, которые, однако, еще очень далеки от точного прогноза.

Первый метод прогноза заключался в подслушивании различных звуков и шумов в земной коре. Это один из наиболее старых методов прогноза. Идея его основана на том предположении, что каждому крупному нарушению в земной коре, связанному с существованием напряжений в ее слоях, предшествуют мелкие нарушения (отдельные сдвиги, трещины и пр.), еще не производящие землетрясения, но являющиеся подготовительным для него процессом. Несомненно, что эти предварительные нарушения создают звук или шум, который может быть воспринят чувствительным звукоприемником. Идея сама по себе достаточно обоснована, однако техническое ее выполнение связано с большими трудностями.

Впервые этот способ был применен итальянскими учеными для предсказания вулканических извержений. Их звукоприемный аппарат, заложенный на некоторой глубине под земной поверхностью, вблизи Везувия, указывал на наличие звуков и шумов.

В Калифорнии звукоприемный аппарат, так называемый гидрофон, был установлен на глубине 110 м в колодце, наполненном водой. Аппарат хорошо передавал слабый скрежещущий звук и сравнительно более сильный перемежающийся гул и треск; однако американцы, как и итальянцы, не пришли к положительному решению вопроса. Это, конечно, не значит, что данный метод сам по себе неприемлем. Скорее всего неудачи можно объяснить несоответствием звукоприемных аппаратов поставленной задаче.

Можно высказать уверенность в том, что звукоприемный аппарат, установленный на большой глубине и способный дать нам картину изменения звуков разных частот, т. е. звуков как высоких, так и низких, окажется практически ценным в вопросах прогноза землетрясений. Устрой-

ство такого аппарата требует однако, большой предварительной исследовательской работы.

Второй метод заключается в изучении наклонов земной поверхности как предвестников землетрясения. Мы знаем, что землетрясение есть результат сдвига в породах земной коры или подкорового вещества. Сдвиги являются только отдельными деталями в общем процессе формирования горных систем. Поэтому мы можем ожидать, что те внутренние силы, которые создали эти явления, должны произвести некоторый изгиб и на земной поверхности, причем изгиб должен быть наибольшим вблизи мест возможного разрыва и сдвига земных слоев, производящих землетрясение. Если дело обстоит так, то подобные изгибы могут служить признаком для прогноза землетрясения.

Наклоны земной поверхности поддаются инструментальному измерению с весьма большой точностью, превышающей  $0.1''$  дуги ( $1''$  соответствует углу между лучами, направленными на концы предмета длиной в 1 м, с расстояния в 206 км). Подобные измерения проводились в разных странах. У нас, в СССР, имеется несколько регулярно работающих наклономерных станций в сейсмических районах, и число их непрерывно растет. Так как наклонометры записывают наклоны земной поверхности, связанные не только с горообразованием и подготовкой к землетрясению, но и с причинами внешнего характера (распределением и изменением атмосферного давления, изменением температуры почвы, осадками и пр.), то естественно, что выделение из общей записи наклонов только тех, которые связаны с указанными внутренними причинами, представляет большие трудности.

На основании сказанного можно сделать следующие выводы:

1. Если сильное землетрясение происходит в округе наклономерной станции радиусом около 100 км, то ход наклонов земной поверхности, вызванный только внутренними причинами, имеет резко выраженную неправильность в своих движениях, так называемую «бурю наклонов».
2. «Бури наклонов» происходят за 3—10 дней до землетрясения.

Следует, однако, сказать, что эти выводы являются еще предварительными, требующими подтверждения на

дальнейшем материале. Кроме того, одна наклономерная станция указывает не место возникновения землетрясения, а целую территорию радиусом в 100 км. Очевидно, что для дальнейших исследований в этом направлении необходима довольно густая сеть наклономерных станций, чтобы сузить возможную область прогноза землетрясений.

Третий способ заключается в изучении изменения упругих свойств вещества внутри Земли в связи с увеличением сил сжатия перед землетрясением. В этом смысле вещество как бы приобретает неоднородность своих свойств в различных местах. Непрерывным наблюдением за изменением этих упругих свойств можно обнаружить назревающую катастрофу. Подобный метод изучения, однако, очень труден. Была попытка определить скорость распространения сейсмических волн через глубокие слои земной коры до землетрясения и после землетрясения. Результаты оказались положительными, т. е. была замечена разница в скоростях перед землетрясением и после него.

Этот метод пока не получил дальнейшего развития, но он вполне обоснован и должен быть испытан при современных, весьма высоких технических возможностях.

Четвертый способ, который, однако, еще недостаточно разработан, заключается в наблюдении за возмущениями электрического состояния атмосферы. Этот метод основан на наблюдениях за появлением электромагнитных волн перед землетрясением и во время землетрясения. Однако эти наблюдения были случайными, систематических же исследований электромагнитных волн, появляющихся перед землетрясением, произведено еще не было.

Некоторые ученые полагают, что неоднократно замеченное беспокойство животных перед землетрясением есть результат действия именно этих электромагнитных волн на нервную систему животных.

Можно было бы назвать еще несколько физических явлений в качестве возможных признаков для прогноза землетрясений, но все они еще недостаточно обоснованы и наблюдениями не проверены.

Нельзя, однако, не отметить много раз наблюдаемую повышенную чувствительность некоторых животных к землетрясениям. Такое предчувствие особенно развито у животных, живущих под землей. Оно выражается в беспо-

койстве или тревоге за несколько минут или часов, а иногда за несколько дней до землетрясения. Есть старинное описание того, как кроты, ласки, ехидны и сороконожки за несколько дней до землетрясения, разрушившего город Геликос в Греции, вышли из своих нор и обратились в беспорядочное бегство.

Из всего изложенного ясно, что до настоящего времени точный прогноз землетрясения еще невозможен. Однако, высокая чувствительность современных физических приборов и наличие различных явлений как признаков для прогноза землетрясений дают все основания полагать, что при серьезной и широкой научной постановке исследования этих признаков прогноз землетрясений может и должен быть поставлен на службу человечеству.

---



## БОРЬБА С РАЗРУШИТЕЛЬНЫМИ ПОСЛЕДСТВИЯМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Землетрясения являются большим бедствием для человечества. Предотвратить это явление мы не в силах, но принять защитные меры от губительных последствий землетрясений вполне возможно.

Многочисленные случаи разрушительных землетрясений наглядно показали, что главной причиной гибели людей является разрушение построек, обломки которых убивают или калечат жителей. Весьма опасны также пожары, часто возникающие в домах во время землетрясений вследствие коротких замыканий или от огня очагов, нагревательных приборов и т. д. Гибель людей и животных в трещинах Земли, конечно, также возможна, но число погибших по этой причине составляет весьма незначительный процент общего количества погибших при каждом землетрясении.

В силу перечисленных обстоятельств защиту для людей следует искать в двух направлениях. Прежде всего необходимо изучить теоретические и практические основы конструкций таких построек, которые выдерживали бы землетрясения разной силы. Это должно привести к выработке норм антисейсмического строительства применительно к различным типам зданий и строительным материалам при различной силе землетрясения.

Второе направление заключается в нахождении методов прогноза землетрясений хотя бы за самое короткое время, достаточное для того, чтобы успеть предупредить население о землетрясении, вывести его из домов на свободные площади, в сады, на улицу и предохранить от падающих обломков зданий.

При разрешении вопроса о нормах антисейсмического строительства в первую очередь нужно узнать, землетрясения какой силы могут возникать в данном районе.

При катастрофических землетрясениях, как правило, сейсмографы разрушаются и не оставляют записей колебаний, по которым можно было бы выяснить величину и период колебаний. Однако в отдельных случаях запись, хотя и неполная, все-таки сохранялась. По этим немногим данным удалось установить, что в эпицентральной области смещение почвы происходит в пределах нескольких сантиметров или десятков сантиметров (в 1923 г. при Японском землетрясении смещение доходило до 50 см), а периоды колебаний доходят до одной секунды и более. Горизонтальные колебания в большинстве случаев преобладают и являются более активными при разрушении зданий.

Эти немногие данные все же дают некоторое основание для расчетов. Представим себе для простоты, что земная поверхность при землетрясении совершает в горизонтальной плоскости правильные, маятникообразные колебания. В этом случае, зная величину смещения и период колебания, можно рассчитать и наибольшее горизонтальное ускорение движения земной поверхности, которое выражается следующим простым соотношением:

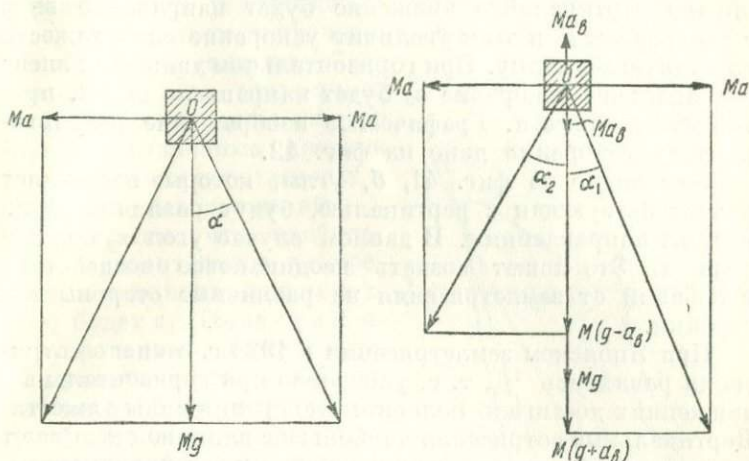
$$a = \frac{4\pi^2}{T^2} A,$$

где  $a$  — искомое горизонтальное ускорение,  $T$  — период,  $A$  — наибольшее смещение точки на земной поверхности при ее колебании.

С другой стороны, мы знаем, что на каждое здание, на каждый предмет, находящийся на земной поверхности, действует по вертикали сила тяжести, характеризуемая постоянным ускорением, которое обозначается через  $g$ . Ускорение  $g$  направлено вниз по радиусу Земли. Представим теперь, что некоторое тело с массой  $M$  находится на земной поверхности, а центр тяжести этой массы — в точке  $O$ . Тогда сила тяжести, действующая на него по вертикали вниз, будет равна  $Mg$ , как показано на фиг. 41, а.

При колебательном движении во время землетрясения это тело будет получать горизонтальное ускоре-

ние  $a$ , направленное попеременно в обе стороны, вследствие того, что горизонтальные силы действуют тоже попеременно, в обе стороны. Величины этих сил равны  $\pm Ma$ . Так как силы  $Mg$  и  $Ma$  действуют одновременно, то, скла-



Фиг. 41, а и б. Схемы распределения действующих сил при землетрясении

дываясь, они образуют результирующую силу, бо́льшую каждой из них в отдельности и направленную под углом  $\alpha$  к вертикали. При этом

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Ma}{Mg} = \frac{a}{g}.$$

Величина  $\frac{a}{g}$  называется степенью сотрясения и обозначается через  $\varepsilon$ . Следовательно,

$$\varepsilon = \frac{a}{g}.$$

Если например,  $A = 15$  см,  $T_2 = 13$  сек., то

$$a = 325 \text{ см/сек}^2.$$

Но ускорение силы тяжести  $g = 981 \text{ см/сек}^2$ ; следовательно, при этих условиях степень сотрясения  $\varepsilon = \frac{325}{981} \approx \frac{1}{3}$ .

Если еще учесть вертикальные ускорения при земле-

трясения, которые действуют одновременно с горизонтальными, то расчет несколько усложнится.

Действительно, представим себе, что под влиянием землетрясения при горизонтальном движении точки  $O$  вправо вертикальное движение будет направлено вниз с ускорением  $a_b$  и этим увеличит ускорение силы тяжести на данную величину. При горизонтальном движении влево вертикальное ускорение  $a_b$  будет направлено вверх, против силы тяжести. Графическое изображение результирующих ускорений дано на фиг. 42.

Как видно на фиг. 41, б, углы, которые составляет равнодействующая с вертикалью, будут различными по разным направлениям. В данном случае угол  $\alpha_2$  больше угла  $\alpha_1$ . Это может создать неодинаковое воздействие колебаний от землетрясения на различные стороны постройки.

При Японском землетрясении в 1923 г. степень сотрясения равнялась  $1/2$ , т. е. ускорение при горизонтальных движениях достигало половины ускорения силы тяжести. Вертикальные сотрясения наибольшее влияние оказывают на уменьшение трения между зданием и его фундаментом, что способствует разрушению здания. Особенно большое действие вертикальные сотрясения могут оказать на предметы, не имеющие крепкой связи с почвой. Во время Японского землетрясения некоторые легкие дома, стоявшие на почве свободно, без скрепления с ней, перебрасывались на расстояние больше одного метра.

Схема взаимодействия ускорения, представленная на предыдущих фигурах, соответствует тому идеальному случаю, когда колебания почвы будут иметь вполне правильный характер типа колебания маятника. Наблюдения и вычисления, однако, показывают, что в действительности колебания почвы очень сложны и прихотливы и можно себе представить самое разнообразное сочетание ускорений горизонтальных и вертикальных движений. Кривая движения точки земной поверхности при Японском землетрясении (фиг. 42) убеждает нас в этом весьма наглядно.

Все это свидетельствует о том, что при составлении проекта построек антисейсмических зданий следует исходить из каких-то средних значений степени сотрясения  $\epsilon$ . В качестве примера можно указать, что для катастрофиче-

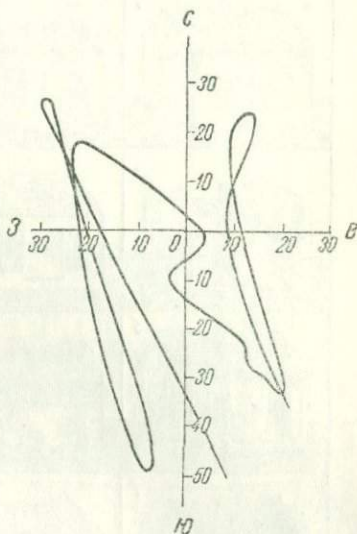
ских землетрясений следует принимать  $\varepsilon = \frac{a}{g} = \frac{1}{3}$ , т. е. учитывать возможность возникновения горизонтальных ускорений, равных одной трети ускорения силы тяжести, и вертикальных ускорений, равных половине ускорения в горизонтальном направлении или одной шестой ускорения силы тяжести. Очевидно, что для землетрясений различной силы следует брать и различные средние ускорения горизонтальных и вертикальных движений.

Допустим, что наибольшее горизонтальное ускорение, возможное в данном районе, будет  $a$ . Тогда при конструировании зданий следует принять во внимание, что на здание будет действовать дополнительная сила, пропорциональная самому ускорению в массе ( $M$ ) здания. Если эту силу обозначить через  $P$ , то  $P = Ma$ . Но так как масса здания равна его весу ( $B$ ), разделенному на ускорение силы тяжести ( $g$ ), т. е.  $M = \frac{B}{g}$ , то предыдущее выражение дополнительной силы, действующей на здание, выразится так:

$$P = \frac{B}{g} a = B\varepsilon,$$

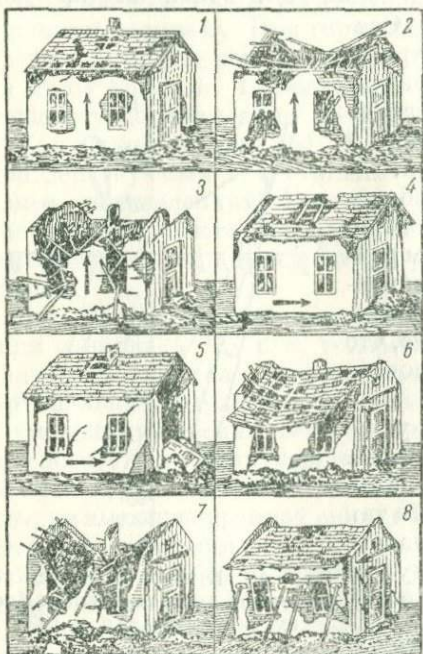
где  $\varepsilon = \frac{a}{g}$  — степень сотрясения или сейсмический коэффициент. Из всего сказанного, и особенно из последнего выражения, ясно, насколько важно знать ускорение горизонтальных и вертикальных движений при землетрясениях разной силы, чтобы ввести в расчеты прочности зданий величину  $\varepsilon$ .

Необходимо заметить, что колебания наиболее сильно воздействуют на те части здания, которые прочно связаны



Фиг. 42. Кривая движения точки земной поверхности при Японском землетрясении в 1923 г.

с почвой, т. е. главным образом на фундамент. Само здание, стоящее на фундаменте и скрепленное с ним в большей или меньшей степени, различно реагирует на движение фундамента. Кроме того, каждое здание имеет еще и свой собственный период колебаний как упругое тело. В случае



Фиг. 43. Форма разрушения здания при вертикальном (1—3) и горизонтальном (4—8) толчке различной силы

совпадения периода колебаний от землетрясения с периодами колебаний самого здания в результате резонанса здание может раскачаться до весьма больших амплитуд. Все это крайне усложняет антисейсмические расчеты.

Рассмотрим простейшие случаи воздействия колебаний.

1. Вертикальный удар снизу вверх или сверху вниз непосредственно воспринимается фундаментом. Соответственно направлению удара фундамент нажимает на здание или стремится уйти из-под него. В самом здании разбиваются инерционные силы, действующие в противоположном действию фундамента. В этих случаях стены и кровля остаются неповрежденными, но связь между стенами и перекрытием нарушается. При очень сильных вертикальных толчках крыша может провалиться и разрушить внутреннюю часть дома. Если крыша тяжелая, то стены не выдерживают давления и разрушаются. Формы разрушения при различной силе вертикального толчка показаны на фиг. 43 под цифрами 1—3.

2. При горизонтальных движениях почвы, а вместе

с ней и фундамента, здание в силу инерции будет стремиться сдвинуться в сторону, противоположную направлению движения. Если закрепление на фундаменте недостаточно, то здание может сдвинуться с места, как это часто случается с деревянными зданиями на каменном фундаменте. Если же закрепление на фундаменте достаточно или имеются значительные силы трения, то здание может наклониться, опрокинуться или повернуться, если оно плохо центрировано.



Фиг. 44. Здание Обсерватории в Сан-Франциско, пострадавшее при землетрясении 1906 г.

При сильных горизонтальных ударах стены покрываются трещинами, с них отпадает штукатурка, иногда они разрушаются и падают. Наблюдаются случаи соскальзывания крыш.

Если горизонтальный удар на правлен под углом к стене здания, то разрушаются углы здания, проваливаются потолки и обрушивается кровля.

Формы разрушения при горизонтальных ударах показаны на фиг. 43 под цифрами 4—8, а также на фиг. 44. Детальная картина разрушения зданий различной конструкции и разрушение отдельных частей и узлов зданий,

железнодорожного полотна, а также всевозможных построек является предметом специальных инженерных изысканий.

Как показывает практика, характер разрушений однотипных зданий в одном и том же городе различен, в зависимости от местных геологических условий. Это значит, что характер самой породы и ее залегания является весьма важным фактором, который необходимо учитывать при антисейсмическом строительстве.

Установлено, что скалистые, невыветрившиеся грунты являются наиболее благоприятным основанием для строительства. Продукты распада горных пород в виде рыхлых подвижных пород, а также наносные почвы небольшой толщины должны быть причислены к опасным грунтам. Отрицательно действует на устойчивость здания сильная увлажненность пород.

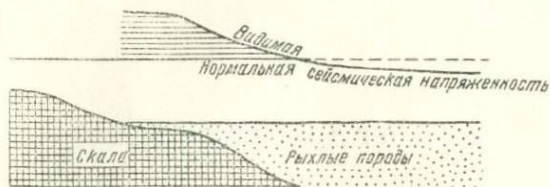
Твердые породы, разрыхленные в нижнем своем основании, также опасны для строительства. Глинистые породы, особенно в случаях их залегания мощными слоями, представляют более благоприятное основание для строительства. Поэтому каждый важный в промышленном и других отношениях район или город должен быть изучен именно с этой стороны. Подобное исследование носит название сейсмического микрорайонирования.

Таким образом, если исходный наибольший балл землетрясения для данного города или района оценивается, например, цифрой 9, то антисейсмическое строительство, в зависимости от местных геологических факторов, в одной части города следует проводить с учетом балла 8, в другой части — балла 9 и, наконец, в третьей — 10. Эти баллы называются расчетными баллами землетрясений. Указанное влияние на сейсмическую интенсивность в зависимости от пород и их залегания схематично представлено на фиг. 45.

В СССР разработка норм антисейсмического строительства ведется на основе систематических исследований методов борьбы с разрушительными последствиями землетрясений за два последних десятилетия. На последнем Всесоюзном антисейсмическом совещании в сентябре 1948 г. в г. Ереване было заслушано много докладов, касающихся вопросов антисейсмического строительства. Утверждена карта сейсмического районирования терри-



тории СССР, а также «Технические условия проектирования зданий и сооружений для сейсмических районов».



Фиг. 45. Схема видимой сейсмической напряженности

Эти технические условия являются обязательными при проектировании и постройке зданий в сейсмических районах СССР.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Бончковский В. Ф. Сейсмическое районирование территории СССР и задачи антисейсмического строительства. Юбилейный сборник, посвященный 30-летию Великой Октябрьской Социалистической революции, АН СССР, 1947.
- Варданянц Л. А. Сейсмоструктура Кавказа. «Труды Сейсмологического института АН СССР», № 64, 1935.
- Горшков Г. П. Землетрясения на территории СССР. Географ. изд.-во, 1949.
- Горшков Г. П. Землетрясения Туркмении. «Труды Сейсмологического института АН СССР», № 122, 1947.
- Гутенберг Б. Основы сейсмологии. ОНТИ, 1935.
- Гутенберг Б., Рихтер К. Сейсмичность Земли. Гос. изд.-во иностр. лит-ры, 1948.
- Кирнос Д. П., Саваренский Е. Ф. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. Гостехиздат, 1949.
- Левицкая А. Я., Горшков Г. П. Новые данные по сейсмоструктуре Крыма. «Бюллетень Моск. об-ва испытателей природы», Отдел геологии, т. XXII, № 3, 1947.
- Павлов А. П. Вулканы, землетрясения, моря и реки, Изд. Моск. о-ва испытателей природы, 1948.
- Розова Е. А. Землетрясения Средней Азии, «Труды Сейсмологического института АН СССР», № 123, 1947.
- Саваренский Е. Ф. Землетрясения с глубокими очагами. «Труды Сейсмологического института АН СССР», № 96, 1940.
- «Технические условия проектирования зданий и сооружений для сейсмических районов» (ТУ-58-49). Стройиздат, 1949.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Землетрясения и их последствия . . . . .	3
Сила землетрясения. Изосейсты . . . . .	15
Причины землетрясений. . . . .	21
Методы изучения землетрясений. . . . .	32
Сейсмические волны. Обработка сейсмограмм . . . . .	40
Географическое распределение землетрясений . . . . .	46
Число землетрясений. . . . .	54
Механизм возникновения землетрясений . . . . .	57
Связь землетрясений с другими явлениями природы . . . . .	66
Предсказание землетрясений. . . . .	73
Борьба с разрушительными последствиями землетрясений . . . . .	79

---

*Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета  
Академии Наук СССР*

Редактор *Г. П. Горшков*  
Технический редактор *Н. А. Колгурина*  
Корректор *В. Б. Несвижский*

РИСО АН СССР № 3746. А-12068. Издат. № 2118. Тип. заказ № 2381. Подп.  
и печ. 20.IX 1949 г. Формат бум. 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Печ. л. 5 <sup>1</sup>/<sub>2</sub>+2 вклейки.  
Уч.-изд. л. 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub>. 10 Тираж 15000.

---

2-я типография Издательства Академии Наук СССР  
Москва, Шубацкий пер., д. 10.

### О П Е Ч А Т К И

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
18	18 св.	А, Б и В	Б и В
18	20 св.	ОЕ	ОА
27	21 св.	точек	точной
71	6 св.	1925	1935
82	10 св.	фиг. 42.	фиг. 41б

В. Ф. Боячковский

Цена 3 руб.

1162