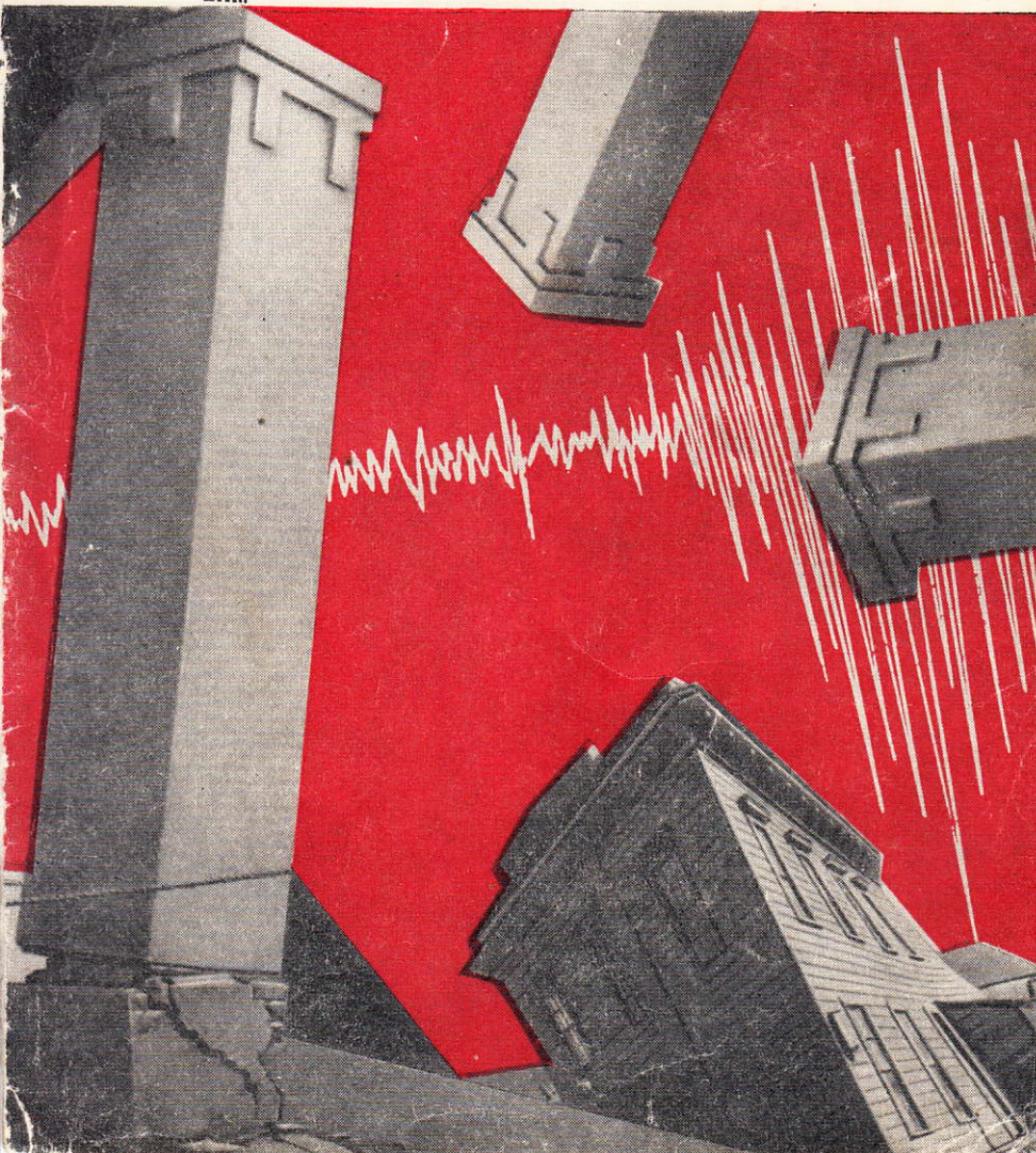


В
МИРЕ
НАУКИ
И
ТЕХНИКИ

Э. РОБЕРТС

КОГДА СОТРЯСАЕТСЯ ЗЕМЛЯ





ИЗДАТЕЛЬСТВО
«М И Р»

E. Roberts

OUR QUAKING EARTH

LITTLE, BROWN
AND COMPANY

BOSTON — TORONTO 1963

Э. РОБЕРТС

КОГДА
СОТРЯСАЕТСЯ
ЗЕМЛЯ

Перевод с английского
Г. Н. МУХИТДИНОВА

Предисловие
проф. Е. Ф. САВАРЕНСКОГО

ИЗДАТЕЛЬСТВО „МИР“ МОСКВА, 1966

Книга известного американского геофизика Э. Робертса посвящена популярному описанию землетрясений, возможности их предсказания и мерам борьбы с их последствиями.

Автор приводит интересные сведения о крупнейших землетрясениях, раскрывает несостоятельность религиозных легенд и дает современное научное объяснение причин землетрясений. В книге довольно подробно освещаются проблемы землетрясений в океане и причины возникновения цунами. В заключение описываются практические меры борьбы с разрушительными последствиями землетрясений.

Редакция научно-фантастической и научно-популярной литературы

БЕСПОКОЙНО И СТРАШНО ЧУВСТВОВАТЬ,
ЧТО ЗЕМЛЯ, КОТОРУЮ МЫ СЧИТАЛИ ПРОЧ-
НОЙ И НЕЗЫБЛЕМОЙ, НАЧИНАЕТ ВДРУГ
КОЛЕБАТЬСЯ. ЭТО ПОХОЖЕ НА КОШМАР.
ЗЕМЛЯ — НАША ОПОРА. ЕСЛИ ОНА НЕ УС-
ПОКОИТСЯ, ЧТО БУДЕТ С НАМИ?

*Моей жене и юным друзьям, которые мо-
гут почерпнуть из этой книги кое-что о
Земле и о причинах землетрясений*

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

«Двумя образы обнажает натура недро земное: иное усиливанием тел, вне оного обращающихся, иное движением самых его внутренностей. Внешние действия суть сильные ветры, дожди, течение рек, волны морские, льды, пожары в лесах, потопы; внутреннее одно землетрясение...»

«Чем возвышены великие хребты Кавказские, Таврийские, Кордильерские, Пиренейские и другие, и самые главные горы, то есть части света? Конечно, не ветрами, не дождями... Есть в сердце земном иное неизмеримое могущество, которое по временам заставляет себя чувствовать на поверхности и коего следы повсюду явствуют, где дно морское на горах, на дне морском горы видим...»

«...Напрасно многие думают, что все, как видим, сначала творцем создано... и потому-де не надобно исследовать причин... Таковые рассуждения весьма вредны приращению всех наук... хотя оным умникам и легко быть философами, выучась наизусть три слова: *бог так сотворил* и сие дая в ответ вместо всех причин».

Так писал более двухсот лет назад — в 1757—1759 гг. — наш соотечественник, замечательный ученый М. В. Ломоносов в своем трактате «О слоях земных».

Другой русский ученый академик Б. Б. Голицын в 1902—1910 гг. создал замечательные сейсмографы, применив в них гальванометрическую регистрацию. Это способствовало быстрому прогрессу сейсмологии во всем мире. Осуществленное Голицыным преобразование колебаний почвы в электрический ток позволило применять самые разнообразные устройства для обработки данных сейсмических наблюдений при помощи электронных счет-

но-решающих устройств. Приборы Голицына явились не-оценимым вкладом именно в современную науку, в век быстрого развития электроники и автоматики.

В годы становления и дальнейшего развития нашего социалистического государства перед наукой, в том числе и перед сейсмологией, были поставлены новые задачи, связанные с быстрым развитием народного хозяйства, ростом промышленного и гражданского строительства.

Каковы же основные проблемы, решением которых занимается современная сейсмология?

Первая, наиболее близкая к практическим запросам задача состоит в разработке мероприятий по обеспечению сейсмостойкости сооружений. Важность и ответственность ее решения возрастают, ибо в районах, подверженных землетрясениям, началось строительство таких крупных гидротехнических сооружений, как, например, плотины на р. Вахш и на р. Ингури (на Кавказе). Высота обеих плотин достигает 300 метров. При этом требуются такие меры по повышению сейсмостойкости, которые бы не слишком удорожали эти и другие стройки. Для этого необходимо прежде всего достаточно точно знать характер колебаний почвы в местах строительства при наиболее сильных землетрясениях. Такого рода задачи относятся к области инженерной сейсмологии.

Другая задача состоит в изучении причин и условий возникновения землетрясений. Нарушения сплошности, разрывы и разломы в Земле порождают землетрясения. До сих пор нет полной ясности, какие именно конкретные процессы вызывают такие явления. С достаточной уверенностью можно лишь считать, что они связаны с физико-химическими процессами внутри Земли и изменениями внутриземного термодинамического режима. Однако это пока общие гипотезы, которые еще не дают возможности выработать методику предсказания моментов возникновения сильных землетрясений. Для этого необходимо выявить надежные предвестники приближения времени землетрясения. Как предполагают, такими признаками могут быть особенности в скорости непрерывных очень слабых деформаций (наклонов, сжатий и растяжений) в земной коре и в изменении некоторых физических параметров (упругих модулей, магнитных свойств и пр.). Пока же эти предвестники не выявлены с полной уверенностью.

Третья задача состоит в изучении строения Земли — ее верхних, столь разнообразных по форме и вещественному составу слоев, содержащих полезные ископаемые, а также ее внутреннего строения. Поиски полезных ископаемых посредством наблюдений над упругими волнами от взрывов и землетрясений в наши дни широко развиты и составляют задачу разведки сейсмическими методами. В последнее время много усилий направлено на изучение так называемой астеносферы — слоя, либо близкого к пластическому состоянию, либо содержащего многочисленные очаги расплавленной магмы. Существование этого слоя на глубине около 100—200 километров как-то связано с вулканами и, возможно, с формированием крупных элементов земного рельефа — ростом гор, опусканием впадин и пр.

Существенно решение и других задач сейсмологии, например предупреждение появления разрушительных океанских волн — цунами, возникающих при землетрясениях на обширных океанических пространствах.

Все эти задачи нашли отражение в популярной книге американского геофизика Э. Робертса «Когда сотрясается земля». Книга эта удовлетворяет одному из требований, предъявляемых к популярным произведениям: она написана живо и увлекательно, хотя не все задачи сейсмологии освещены в ней одинаково подробно и отчетливо. Пожалуй, наименее удачно изложены вопросы, связанные со строением Земли. Зато это редкая книга, где столь подробно описаны курьезы, связанные с религиозными предрассудками и страхами, и дано историческое развитие представлений о землетрясениях.

Увлекательно и интересно написаны главы, описывающие возникновение цунами при землетрясениях.

Вместе с тем автор, уделяя много внимания интересным фактам и их изложению, не всегда с такой же подробностью вскрывает механизм возникновения землетрясений и волн цунами. Возможно, конечно, что для этого ему пришлось бы либо слишком увеличить объем книги, либо сократить число многих интересных страниц, описывающих конкретные землетрясения, а именно эти страницы приковывают внимание динамикой событий и особенно ценны для юных читателей.

Автор книги на протяжении ряда лет возглавлял геофизический отдел Управления береговой и геодезической

службы США. Он участвовал в создании службы предупреждения о цунами от подводных землетрясений. Необходимость в этом стала особенно очевидной после землетрясения 1 апреля 1946 года, которое описывается в книге. Цунами, вызванное им, сопровождалось тяжелыми последствиями на Гавайских островах.

Э. Робертс был участником многих океанографических экспедиций. Несомненно, он является представителем старой школы геофизиков в лучшем смысле слова: это широко образованный ученый, для которого главное состоит в умении наблюдать и анализировать увиденное.

Некоторые места книги содержат не имеющие существенного отношения к предмету абзацы, которые оказались целесообразным опустить при переводе.

Можно надеяться, что книга Робертса будет прочитана с интересом и читатель сумеет оценить ее достоинства и недостатки.

Е. Саваренский

ПРЕДИСЛОВИЕ

Элиот Робертс, в течение ряда лет возглавлявший отдел геофизики при Управлении береговой и геодезической службы США, всегда проявлял огромный интерес к работам в области исследования землетрясений. Инженер по образованию, Э. Робертс долгое время занимался изучением землетрясений, уделяя особое внимание вопросам разработки сейсмостойких конструкций. Ознакомившись с обширной литературой о землетрясениях как далекого прошлого, так и настоящего и будучи всегда в курсе всех технических проблем, встававших перед отделом, он приобрел такие знания в этой области, что ему могут позавидовать многие специалисты.

Эта книга — плод его давнишнего увлечения. Она написана со знанием предмета и в то же время очень просто и понятно, без излишнего в данном случае углубления в технические и научные детали. Забавные истории и популярные комментарии привлекут внимание широкого круга читателей; во всяком случае, книга гораздо интереснее многих учебников. Как специалист, я надеюсь, что после ее прочтения юные читатели всерьез заинтересуются сейсмологией, а некоторые, быть может, пожелают посвятить ей свою жизнь.

*Дин С. Кардер,
сейсмолог Управления береговой
и геодезической службы США*

ЗАТОНУВШИЙ ГОРОД

Катастрофа произошла 7 июня 1692 года. В этот день, за семнадцать минут до полудня, был разрушен Порт-Ройял — город на о-ве Ямайка в Карибском море.

Порт-Ройял — центр английской торговли в Новом Свете, открытом Колумбом за два столетия до катастрофы, — располагался на узкой безлесной песчаной косе, неподалеку от того места, где теперь находится Кингстон. Унылый, без зелени город резко выделялся на фоне раскинувшегося к северу от него острова, где, закрывая горизонт, возвышались сверкающие под ярким солнцем голубые островерхие горные хребты. Остров украшали пальмы и великолепные цветы. Все вокруг выглядело спокойно.

Но спокойствие это было только кажущимся. В недрах Ямайки таились мощные силы, время от времени вырвавшиеся наружу. Они представляли собой грозную опасность, и это дало повод жителям Порт-Ройяла называть остров «коварным». По современным представлениям ученых, остров образовался в результате разломов земной коры, сопровождавшихся за долгую геологическую историю Земли бесчисленными землетрясениями. Под тропической красотой Ямайки скрывались источники неисчислимых бед.

Значительную часть населения Порт-Ройяла, этих торговых ворот молодого американского континента, составляли владельцы крупных складов и лавок — преуспевающие торговцы, которые не брезгали никакими средствами наживы, и осевшие здесь бывшие моряки — отъявленные негодяи, пьяницы, бездельники. В городе нашли пристанище и пираты под стать знаменитому головорезу Генри Моргану, грабившие на морских дорогах

грузенные сокровищами испанские корабли и совершавшие разбойничьи набеги на города Нового Света, подобные тому, какому подвергалась Панама. И хотя со дня смерти Генри Моргана прошло уже четыре года, жизнь в городе в 1692 году, несмотря на попытки некоторых граждан как-то изменить ее к лучшему, оставалась прежней. Но события развернулись так, что на город, своими порядками снискавший славу самого жестокого и безнравственного в мире, обрушилось страшное бедствие.

Трагические события 7 июня 1692 года подробно описал в письме к своему другу Эмануил Хит, пастор церкви св. Павла — один из тех, кто приложил немало усилий, чтобы улучшить нравы города. В этот день, незадолго до обеда, он и губернатор Джон Уайт собирались выпить по бокалу вина. Вдруг Хит почувствовал, что земля покачнулась и стала уходить у него из-под ног. Ему еще ни разу не приходилось испытывать ничего подобного! В испуге он воскликнул, обращаясь к Уайту: «Сэр, что это?!» Но Уайт успокоил его: «Не бойтесь! Это землетрясение. Сейчас все кончится».

Священник никак не мог прийти в себя. И не удивительно! Город ходил ходуном. Стоял невообразимый шум, как будто рушились горы. По земле, как по морю, шли волны. В земле появилась зияющая трещина и тут же исчезла, поглотив оказавшихся поблизости людей. Северная часть города, постепенно оседая, с грохотом погружилась в море. Под водой очутились прибрежная улица Темзы и толстостенные постройки форта Джеймс и форта Карлайл. Несмотря на неистовство подземных сил, само погружение происходило медленно; здания целиком величественно опускались на дно, и по сей день на дне моря видны почти нетронутые строения.

Множество шлюпов и кораблей, погибших в разбушевавшемся море, две тысячи исчезнувших жителей и не менее двух третей превращенного в развалины города — таковы печальные итоги трех подземных толчков, обрушившихся на Порт-Ройял.

Пастор Хит и губернатор Уайт уцелели во время этой катастрофы, но многие из тех, кому город был обязан своей дурной славой, погибли как беспомощные младенцы. Эта трагедия стала поворотной вехой в истории города, и после восстановления Порт-Ройяла его нравы значительно изменились к лучшему.

С тех пор Ямайка — страна колдунов и черной магии — спокойно дремлет под лучами тропического солнца, но катастрофические события 1692 года еще долго привлекали внимание многих людей. Дрaму Порт-Ройяла некоторые из них склонны рассматривать как возмездие божественных сил за безнравственное поведение горожан.

Ученым, изучавшим геологические изменения в сейсмически активной зоне Карибского моря, известно, что катастрофа, разрушившая логово пиратов, — результат закономерных смещений земной коры. Благодаря случайному стечению обстоятельств она произошла именно в Порт-Ройяле и именно в те страшные для него времена, но люди до сих пор интересуются причиной ее возникновения.

Прежде чем понять природу грозных сил, человечество прошло сложный и долгий путь развития. От благоговейного восхищения и страха первобытного человека перед силами природы, через столетия полного суеверий и религиозных предрассудков средневековья к современному уровню знаний о характере сил, вызывающих землетрясения, — такова история познания этих грандиозных сил. Эти знания позволяют нам определять характер процессов, происходящих в недрах Земли на глубинах до нескольких сот километров.

I. НЕКОТОРЫЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Вся мировая гармония построена
на разногласиях.

Сенека

История хранит множество рассказов о крупных землетрясениях. Часть из них примечательна не столько принесенными несчастьями, сколько вызванными ими странными явлениями в природе. Вспомним о некоторых из них.

Первое известное нам крупное землетрясение, разрушившее город Сянь, произошло в Китае в VII веке нашей эры. О нем вспоминают лишь потому, что это одно из первых на памяти человечества землетрясений. Какие-либо подробности о нем неизвестны. Следующее очень сильное землетрясение обрушилось на индийский город Калькутту 11 октября 1737 года и привело к гибели свыше трехсот тысяч человек, что превышает нынешнее население американского города Майами (шт. Флорида) или штата Невада в целом. Сведения об этом трагическом событии также весьма скудны. Гораздо больше подробностей сохранилось о землетрясении, спустя несколько лет уничтожившем город Лиссабон в Португалии. Лиссабонское землетрясение — одно из самых известных в истории. По свидетельству очевидцев, это было потрясающее зрелище, хотя само землетрясение сопровождалось гораздо меньшим числом человеческих жертв по сравнению с калькуттской катастрофой.

И вздыбилось море!

1 ноября 1755 года, в День Всех Святых, большая часть 235-тысячного населения Лиссабона отправилась в церкви на первую мессу. Городские постройки раскинулись рядами на холмах по северному берегу реки Тежу, километрах в десяти от океана. Были среди них и высо-

кие четырех-пятиэтажные здания, построенные так давно, что об этом не помнили даже старожилы. Число таких зданий достигало почти двадцати тысяч. Добротные, прочные на вид, они казались вечными.

И вдруг началось нечто невообразимое! К юго-западу от Лиссабона в глубинах Земли возникли силы огромной мощности, внезапно нарушившие спокойствие города. Все жители города — на улицах, в домах и церквах — вдруг почувствовали сильные частые колебания, вызвавшие неприятное ощущение. Через минуту колебания сменились более редкими толчками, но гораздо большей силы. Послышались громовые раскаты, и над городом появились облака пыли, поднятые рушащимися зданиями. В следующее мгновение толчки сменились сильными волнообразными колебаниями почвы, и рассыпались последние уцелевшие дома. Это было только первое из трех землетрясений, которые в тот день обрушились на Лиссабон!

Когда грохот землетрясения и падающих зданий несколько стих, повсюду из-под обломков стали слышны крики о помощи и стоны пострадавших. От кухонных очагов и церковных свеч среди обломков занялись языки пламени, которые с жадностью пожирали деревянную утварь и занавеси. Раздуваемые ветром, они вскоре превратились в море огня, который бушевал над развалинами города в течение многих дней. Попытки оставшихся в живых смельчаков потушить пожар и помешать распространению огня окончились неудачей — воды не оказалось, а кроме того, улицы города были завалены обломками 32 церквей, 53 дворцов и тысяч других более мелких зданий. Под развалинами были погребены даже площади. Как город Лиссабон перестал существовать; уцелело лишь около трех тысяч неприглядных полуразвалившихся построек на самых удаленных от берега холмах. И тут последовало второе землетрясение!

Началось оно через двадцать минут после первого. К этому моменту в городе не осталось почти ни одного целого каменного здания. Но со вторым толчком связаны другие трагические события. Многим из оставшихся в живых жителям после первого землетрясения с трудом удалось добраться до нового причала Кайз-Депреда на набережной реки, который привлек их своей прочностью. Приземистый и массивный, он казался надежным убе-

жищем. Но и это пристанище пострадавших было недолговечным! С первыми же новыми ударами фундамент причала осел, и, подобно тому, как это случилось свыше 60 лет до этого в Порт-Ройале, все сооружение вместе с обезумевшими от ужаса людьми бесследно исчезло в водной стихии. Спаслись никому не удалось.

Почти следом за этим на город обрушилось еще одно несчастье — несколько запоздалое следствие первого сотрясения: образовавшаяся в океане волна с огромной силой хлынула на побережье Португалии, а затем и на другие районы Атлантики. В устье реки Тежу вначале произошел спад воды, обнаживший песчаные наносы. И тотчас же сюда ринулась бурлящая водяная стена высотой около шести метров, сметая все, что попадалось на ее пути на протяжении почти одного километра от русла реки. Обломки снесенных мостов, снасти разбитых кораблей, разрушенные здания — все это переплелось в русле в один огромный клубок.

Последствия этого землетрясения в других местах были не менее грандиозны и удивительны. Например, в Коларесе, близ Лиссабона, произошло поднятие суши. В гавани из-под воды появилась новая скала, невиданная ранее моряками, а по прибрежной полосе, там, где раньше гуляли только волны, стали свободно ходить люди. Подъем суши сильно изменил очертания побережья Португалии. Сотрясения наблюдались по всей Португалии и Испании на площади свыше двух с половиной миллионов квадратных километров. Очевидцы даже утверждали, будто бы люди, обладающие повышенной чувствительностью, зафиксировали удары в Венеции, по это весьма сомнительно.

Последствия лиссабонского землетрясения ощущались на большом удалении. Так, например, в озерах Швеции в это же время было отмечено появление мутных волн; в знаменитом шотландском озере Лох-Ломонд высота таких волн достигала почти одного метра, а в каналах Амстердама лодки были сорваны с причалов. В ряде мест появились новые родники, а старые либо иссякли, либо же вода в них стала красной. Из горячего источника в Топлице, Богемия, забил грязевой фонтан. Огромные волны, возникшие в Атлантике, достигли берегов Англии к полудню, а Вест-Индских островов — к вечеру того же дня.

Почти одновременно с трагическими событиями в Лиссабоне были зарегистрированы так называемые сопутствующие толчки в Северной Африке, в тысячах километров от Лиссабона, причинившие огромный ущерб. Ученые сейчас уже не в состоянии ответить, были ли эти разрушения сопутствующими землетрясению в Лиссабоне или же это было самостоятельное землетрясение, которое произошло одновременно с лиссабонским.

Число жертв землетрясения в Лиссабоне составило около 50 тысяч человек. Многих смерть настигла во время богослужения. Поэтому печальные события лиссабонской катастрофы глубоко врезались в память и занимают видное место в истории землетрясений. Они даже нашли свое отражение в художественной литературе: в 1756 году Вольтер написал «Поэму о лиссабонской катастрофе», а позже, в 1759 году, он неоднократно возвращался к этим событиям в своей великолепной повести «Кандид».

И опустилась земля!

К совершенно иным последствиям привело землетрясение вблизи Нью-Мадрида, шт. Миссури. Оно началось 16 декабря 1811 года с сильного удара — первого из серии толчков, длившихся до марта следующего, 1812 года. Это землетрясение считают самым крупным в Соединенных Штатах Америки, но оно привлекло внимание также и по другим причинам: огромная сила землетрясения и вызванные им нарушения совершенно не характерны для таких низменных мест, как долина реки Миссисипи. По своим последствиям миссурийское землетрясение не имеет равных, несмотря на то, что оно обошлось без жертв, а его окончательные результаты были известны только ученым. Это одно из тех редких крупных землетрясений, последствия которых имеют только научный интерес.

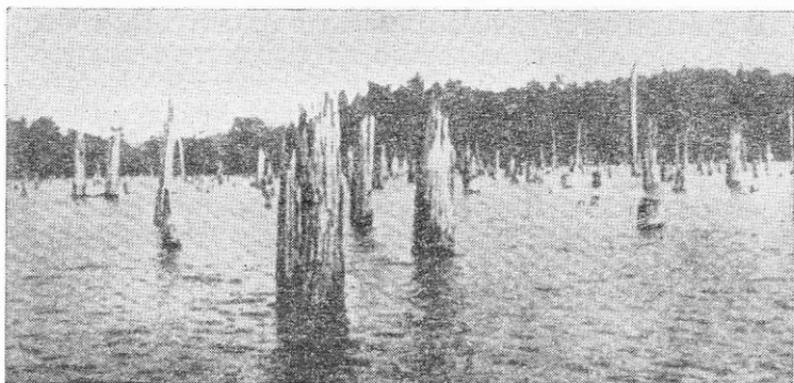
Землетрясение произошло в малонаселенной местности, где преобладали бревенчатые постройки. Даже Нью-Мадрид был всего-навсего большой деревней, население которой едва превышало тысячу человек. Вечер 15 декабря был ясным и тихим. Ничто не предвещало опасности; фермеры и охотники и не подозревали, что подземные силы приготовились к удару.

В третьем часу ночи послышался отдаленный грохот, затем закачались дома, раздался оглушительный треск и стали рушиться трубы. Небо потемнело от поднявшейся кверху пыли, а многие очевидцы даже видели вспышки молний. Почти все постройки Нью-Мадрида были разрушены, лишь в окрестностях сохранились бревенчатые дома. Они оказались устойчивее к землетрясению, чем каменные сооружения. Последующие толчки были меньшей силы и продолжались до конца дня, а затем последовал новый удар, по силе не уступавший первому.

Очевидцы отмечали необычайно сильные сотрясения почвы. Натуралист Одюбон, путешествовавший в это время по соседнему штату Кентукки, увидел, как по земле вдруг заходили большие волны и ее поверхность стала похожа на покрытое рябью море. Николас Рузвельт, капитан первого парохода на Миссисипи, обратил внимание на внезапное появление огромных волн, поглотивших множество мелких суденышек. Свидетелями землетрясения, буквально потрясшего их своей силой, стали и участники изыскательской экспедиции Лонга, державшие путь на Дальний Запад. Воспоминания очевидцев помогли составить объективную картину последствий этого землетрясения и дать им правильное научное объяснение.

Следы сотрясения почвы были видны повсюду: склонившиеся к земле деревья с переплетенными ветвями; рябая, изрытая ямами земля на месте бывших плывунов; огромные, вспученные подземными источниками песчаные горбы; глубокие трещины; оползни, переместившие холмы. В реке исчезли целые острова, и фарватер ее полностью изменился.

Однако наиболее важный результат землетрясения — резкое опускание почвы на 3—5 метров на площади в несколько тысяч квадратных километров. Свыше 50 квадратных километров опустившейся суши в Теннесси вскоре было залито водой, и на этом месте образовалось озеро Рилфут, ставшее со временем надежным убежищем для многих представителей животного мира. В целом было затоплено более 500 квадратных километров лесных угодий, и даже теперь, полтора столетия спустя, на мелководье, подобно призракам, торчат тысячи стволов некогда могучих деревьев.



Стволы деревьев, затопленных 150 лет назад в озере Рилфут, шт. Теннесси.

Местность опустилась во время нью-мадридского землетрясения 1811 г.

Колебания почвы, как это обычно бывает во время сильных землетрясений, ощущались на огромной территории в несколько миллионов квадратных километров. По силе миссурийское землетрясение сравнимо с предшествующим лиссабонским землетрясением: его толчки были зафиксированы даже в Бостоне, находящемся на расстоянии свыше полутора тысяч километров от Нью-Мадрида.* Повсюду на востоке страны остановились маятники часов. Сильными толчками было напугано население Вашингтона. В Чарльстоне, шт. Южная Каролина, удар достиг такой силы, что на церкви св. Филиппа зазвонил колокол. Все это случилось ровно за 75 лет до того дня, когда в самом Чарльстоне произошло сильное, вошедшее в историю землетрясение.

Число подземных толчков было столь велико, что д-р Робертсон из церкви св. Женевьевы сбился со счета на пятой сотне. Джейрд Брукс из Луизвилля оказался более упорным, и с 16 декабря 1811 года по 15 марта 1812 года он насчитал свыше 1874 ударов. После возникновения первых подземных толчков Брукс смастерил маятники различной длины и особые пружинные устройства, с помощью которых он намеревался фиксировать очень слабые, почти неощутимые колебания. Он был одним из первых американских исследователей, использовавших инструментальный метод регистрации землетрясений,— метод, который в настоящее время получил широкое раз-

витие благодаря применению приборов высокой точности и чувствительности. Слабые толчки продолжались еще свыше года, но жители настолько к ним привыкли, что перестали обращать на них внимание.

Пожалуй, самое сильное землетрясение?

Землетрясение в долине Миссисипи по своим последствиям относится к числу наиболее сильных в Америке. Но в истории Земли известны и более мощные сотрясения; примером тому может служить землетрясение в Ассаме, которое произошло 12 июня 1897 года.

Как и во время землетрясения в Нью-Мадриде, на большой площади наблюдались значительные смещения, но на сей раз они были вертикальными. Трудно передать словами весь драматизм происходящего: зрелище было поистине потрясающим, когда расположенные южнее индийской реки Брахмапутры горы Ассамы высотой 1200 метров — остатки древнего плато Силхет — начали вдруг расти. Впоследствии топографы отмечали, что в результате одного-единственного толчка высота гор увеличилась почти на 6 метров. Чудовищные разрушения охватили площадь около 23 тысяч квадратных километров, а колебания ощущались на территории, вдвое превышавшей территорию, затронутую землетрясениями в Лиссабоне или Нью-Мадриде. По свидетельству Николаса Хека, одного из крупных специалистов в этой области, «землетрясение в Индии по своей силе принадлежит к самым разрушительным из всех доселе известных».

И свирепствовал огонь!

Последствия землетрясения в Нью-Мадриде — самого сильного в Соединенных Штатах Америки — сейчас известны лишь узкому кругу специалистов, тогда как о более слабом толчке, обрушившемся на Сан-Франциско в 1906 году, знают практически все образованные люди. Несомненно, этой катастрофе будет отведено соответствующее место в книгах для будущих поколений. Причина столь различной популярности этих двух землетрясений объясняется очень просто. Наиболее осязаемые последствия землетрясений — это гибель людей и материальный ущерб. В долине Миссисипи в результате землетрясения

оказалось разрушенным лишь небольшое количество бревенчатых хижин, тогда как в Сан-Франциско были превращены в руины здания огромного города, раскинувшегося на многие квадратные километры. События в Сан-Франциско полны истинного драматизма.

Землетрясение, которое произошло в Калифорнии 18 апреля 1906 года, было уже третьим и самым сильным, обрушившимся на нее на памяти человечества. Первое, очень сильное землетрясение произошло в 1857 году в форте Техон, близ Лос-Анжелоса. В 1872 году в результате второго подземного толчка была разрушена деревушка Лоун-Пайн в долине реки Оуэнс, к востоку от Сиерры. Оба упомянутых землетрясения были достаточно сильными, однако местность была малонаселенной и большого ущерба они не нанесли. Совершенно иные последствия имело землетрясение в Сан-Франциско.

Случилось это утром, в начале шестого. Город еще спал. И только крики разносчиков молока и грохот первых трамваев были предвестниками начала трудовых будней. Пробуждение города было ужасным. Трудно даже представить себе, что произошло!

Земля содрогнулась с такой силой, что здания рассыпались словно карточные домики. Среди них была и новая городская ратуша — гордость жителей Сан-Франциско, строительство которой обошлось почти в 7 миллионов долларов. От развалившихся горящих печей и замыкания электрических проводов вспыхнули пожары. Лопнули все водопроводные магистрали.

В Калифорнии, вдоль почти 500-километрового разлома земной коры, известного как «разлом Сан-Андреас», появились огромные зияющие трещины. (Разлом Сан-Андреас несведущие люди ошибочно приписывают калифорнийскому землетрясению.)

Эпицентр землетрясения оказался вблизи Сан-Франциско, и поэтому там разрушения были наиболее значительными. Под развалинами рухнувших зданий и от эпидемий, вспыхнувших позднее из-за антисанитарных условий, погибло около 700 человек. Ущерб, причиненный городу, был колоссальным. Из-за отсутствия воды огонь вырвался на свободу. Прежде чем его удалось ликвидировать, свыше десяти квадратных километров городских кварталов было превращено в обгорелые, черные руины. Убытки от пожаров оцениваются в 400 миллионов долла-



Улица в Сан-Франциско после землетрясения и пожара 1906 года.

ров, что составляет свыше 90 процентов от общего ущерба, причиненного землетрясением! Цифра огромная, но она могла быть и больше, если бы не решительные действия городских властей. Несмотря на энергичные протесты домовладельцев, им удалось с помощью динамита расчистить завалы вокруг очагов пожаров и тем самым предотвратить их дальнейшее распространение.

Последствия землетрясения отмечались повсеместно на обширной территории. Иссохли некоторые источники; подземные воды изменили свои русла. Примерно в километре от разлома с корнем были вырваны «седые» дубы до двух метров в обхвате. Влажные почвы переместились вниз по склонам холмов примерно на 800 метров, а дорога между Пойнт-Рейсом и Инвернессом в округе Мэрин оказалась пересеченной трещиной. Концы дороги сместились приблизительно на 6 метров. Это большое горизонтальное смещение вдоль разлома долгое время считалось рекордным, хотя вертикальные смещения иногда имеют и более значительные амплитуды.

Калифорнийское землетрясение — одна из величайших трагедий в истории Америки. Оно произошло совер-

шенно неожиданно для всех, и масштабы его последствий потрясли всю страну. Правда, в настоящее время еженедельное число жертв на автострадах Америки превышает число погибших в Сан-Франциско, но мы так привыкли к этим катастрофам, что почти не обращаем на них внимания. Землетрясения же для нас — события гораздо более трагические!

События в Сан-Франциско памятли также и ученым, так как они позволили им сделать определенные выводы. Причины и последствия катастрофы исследовались американскими и японскими инженерами. При восстановлении Сан-Франциско были приняты меры по укреплению зданий и обеспечению почти неисчерпаемого запаса воды на случай повторного землетрясения: водопроводные магистрали сдублированы, многочисленные контрольные вентили позволяют направлять воду по различным магистралям, минуя разрушенные участки. Созданы также большие подземные резервуары воды на случай крайней необходимости. Сделано все необходимое для предотвращения и ликвидации многочисленных пожаров, которые, как мы уже имели возможность убедиться, иногда приносят гораздо больший ущерб, чем сами землетрясения.

Изучение нарушенных пород вдоль разлома Сан-Андреас позволило собрать ряд новых ценных сведений. В частности, оно подтвердило гипотезы американских ученых о причинах землетрясения. Получив возможность наблюдать последствия разломов на поверхности земли, ученые установили, что же произошло в действительности. Это позволило специалистам выяснить вероятные причины землетрясений такого рода.

Национальная трагедия

Землетрясение, ставшее национальным бедствием Японии, произошло 1 сентября 1923 года и полностью разрушило Токио и Иокогаму. По названию столичного района Канто, в котором оно случилось, землетрясение получило название кантонского.

Приближалось время обеда. Служащие учреждений из деловой части города устремились в рестораны и на зеленые лужайки городских парков. Священнослужитель направился к помосту, где висел сигнальный коло-

кол, собираясь пробить полдень. Стоял на редкость солнечный тихий осенний день. Воздух был совершенно неподвижен.

Но безмятежное спокойствие природы вселяло смутную тревогу. За полторы минуты до полудня под водами залива Сагами начались колебания земли, вначале слабые, но затем быстро усилившиеся. Волнение почвы стремительно распространялось и вскоре достигло двух крупнейших городов Японии, расположенных в 65 километрах к северу от залива. Толчки были настолько сильными, что вызвали катастрофические разрушения, сопровождавшиеся человеческими жертвами и нанесшие колоссальный материальный ущерб.

На линии железной дороги между Токио и Иокогамой поезда вдруг покачнулись и, наткнувшись на вывороченные и скрученные рельсы, рухнули наземь. Священнослужитель в страхе отпрянул от падающих колоколов. Профессор Имамура, один из известнейших сейсмологов, который как раз в тот момент находился в своем служебном кабинете в Токио, по профессиональной привычке стал было фиксировать периодичность подземных толчков. Но уже несколько мгновений спустя его обеспокоила все возрастающая сила ударов. Все вокруг превратилось в настоящий бедлам. Там, где только что стоял город, остались одни руины.

В Иокогаме было разрушено 11 000 зданий и почти 59 000 сгорело. В Токио от пожара при сильном ветре пострадало более 300 000 (из миллиона) зданий. Были уничтожены мосты, загублены леса и возделанные поля, завалены туннели. Разбушевавшиеся в заливе Сагами волны высотой свыше десяти метров обрушились на берег, неся смерть и разрушение. Всего в районе землетрясения насчитывалось около ста тысяч погибших, а раненых было гораздо больше. Около миллиона людей осталось без крова.

Общие убытки были оценены почти в 3 миллиарда долларов, причем в эту сумму не входила стоимость безвозвратно потерянных бесценных художественных сокровищ двухтысячелетней давности и памятников старины. В Камакура была даже сдвинута со своего места монументальная фигура бронзового Будды. (Религиозные фанатики расценили это как предостережение свыше.)

Однако надо сказать, что трагические события в Японии не явились для специалистов полной неожиданностью. Еще за двадцать лет до этого тот же профессор Имамура предсказывал, что в Токио возможно большое землетрясение. Более того, он предупреждал, что, если в городе не будет улучшена система водоснабжения и противопожарной безопасности, во время землетрясения может погибнуть до ста тысяч человек. В своей предварительной оценке вероятных последствий землетрясения Имамура исходил из строительной практики, принятой в Японии. Традиционными строительными материалами в стране служили, как правило, дешевые и всем доступные изделия из бумаги, бамбука и других легко воспламеняющихся материалов. Японские инженеры прекрасно понимали уязвимость такого строительства и упорно работали над его усовершенствованием; это в особенности относилось к строительству государственных учреждений и предприятий. И в самом деле, многие солидные, не слишком высокие здания превосходно выдержали подземные удары кантонского землетрясения, а большинство позднее восстановленных зданий стали вполне безопасными (разумеется, в известных пределах). В заново отстроенном Токио имеются широкие улицы, многочисленные парки и зоны безопасности, не подлежащие застройке.

Гидрографическими промерами залива Сагами, откуда начались толчки, были зафиксированы невероятные изменения рельефа дна. Сообщалось, что площадь, на которой были отмечены эти изменения, составляла примерно 1300 квадратных километров, а величина вертикальных перемещений отдельных участков дна достигала сотен метров. Как предполагали некоторые ученые, изменения рельефа дна залива были вызваны грандиозными оползнями рыхлых осадков — древних продуктов извержений прославленного вулкана Фудзияма. Однако подобное утверждение маловероятно. Скорее всего, более ранние промеры, с которыми сравнивались последние данные, были выполнены неточно. Несомненно, однако, что такие сильные изменения, связанные с большими землетрясениями, действительно происходят на нашей вечно беспокойной планете.

Изменения поверхности морского дна в заливе Сагами независимо от масштаба преобразований позволяют понять причины появления морских волн, сопутствующих

подводным землетрясениям. Волны возникали как во время этого землетрясения, так и во время лиссабонского и многих других. Оказалось, что даже такая подвижная и податливая среда, как вода, способна причинять огромные разрушения при внезапных преобразованиях рельефа дна.

Народ Японии мужественно перенес тяжелые последствия разразившейся катастрофы и не поддавался панике. Правительственные постановления, предназначавшиеся для борьбы со спекуляцией, оказались излишними. Охрана здоровья населения обеспечивалась регулярными обследованиями и соблюдением мер санитарной профилактики. Особенно волнующим событием был поток товаров и продовольствия, поступавший в фонд помощи пострадавшим со всех концов мира. Это служило ярким выражением дружеского участия всего человечества к японскому народу.

На протяжении двух последующих лет, в течение которых трудолюбивый японский народ неутомимо отстраивал разрушенные города, в стране было зарегистрировано несколько сот более слабых подземных толчков все еще продолжавшегося кантонского землетрясения. Население к ним привыкло и рассматривало их как обычное явление. По-видимому, все решили, что оставшаяся в недрах энергия будет высвобождаться в виде слабых колебаний и можно не опасаться катастрофических сотрясений. К этому времени стало ясно, что каждый новый толчок слабее предыдущего и возникает в отдалении от него. Землетрясение явно затухало. И наконец, в ноябре 1925 года хорошо известный всем профессор Имамура заявил, что опасность практически миновала — Япония стала испытывать не более двух толчков в день!

И закачались горы!

15 августа 1950 года на землю обрушилось новое бедствие. Одно из наиболее сильных землетрясений нашего столетия повсеместно привело в движение самописцы приборов, регистрирующих землетрясения.

Мисс Кроун — сотрудница нашего отделения в Вашингтоне — случайно заметила, что перо самописца внезапно начало записывать большие колебания. Вероятно, она была первым в мире человеком, разумеется, за ис-

ключением тех, кто непосредственно находился в эпицентре землетрясения, узнавшим о новых деформациях земли. Страшно взволнованная, она поделилась со мной своей новостью, и наши лучшие специалисты немедленно начали обрабатывать записи. Вскоре сейсмологи всего мира получили возможность проанализировать обеспокоившие их показания приборов, безуспешно пытаясь определить местонахождение крупнейшего землетрясения. Одни полагали, что оно произошло на Аляске, другие считали, что в южной части Тихого океана, третьи думали, что в Южной Америке или Японии. Дикторы радио, комментируя все эти фантастические предположения, изощрялись в различного рода историях о «величайшем землетрясении века», место которого не мог установить ни один ученый. Вот уж, действительно, потрясающее землетрясение! Но вскоре недоумение рассеялось. Через четыре часа наш сотрудник Леонард Мёрфи, широко известный под прозвищем «г-н Землетрясение», указал точное место. Оно находилось в высокогорной части Тибета, вблизи индийско-китайской границы.

На этот раз помощи международных организаций не потребовалось. Пострадало лишь небольшое число местных жителей из горных племен и несколько индийских пограничников. Прошло около трех лет, прежде чем кое-какие их рассказы просочились из дикой малонаселенной местности, причем ни в одном из них не упоминалось точное количество жертв. За многие месяцы поисков удалось отыскать что-то около 14 очевидцев.

Гималайское землетрясение 1950 года — одно из сильнейших с момента записи колебаний почвы приборами. Оно произошло в результате геологически быстрого подъема высочайших в мире Гималайских гор. Подсчитано, что энергия этого землетрясения примерно соответствовала энергии взрыва 100 000 атомных бомб, по мощности равных сброшенным в конце второй мировой войны на Хиросиму.

Сотрясения распространились на площади более 25 000 квадратных километров, вызвав огромные разрушения. Изменения рельефа страны, вероятно, превосходили все, что до сих пор было известно ученым. В горах, обильно насыщенных влагой в период муссонов, произошло множество оползней. По приблизительным подсчетам главного инженера шт. Ассам, общий вес перемещен-

ных горных пород составил около двух миллиардов тонн; этого количества хватило бы для ежедневного отправления 100 железнодорожных вагонов с пятиминутным интервалом в течение двух лет. Страшный гул, идущий из недр Земли, перерос в оглушительный грохот, небо потемнело от взметнувшейся вверх пыли. Вблизи эпицентра землетрясения никто не смог удержаться на ногах, и даже в Калькутте — на расстоянии свыше 1100 километров — население было сильно напугано подземными толчками. Рассказы немногочисленных очевидцев напоминали какой-то кошмар. На глазах пограничников, которые находились вблизи очага землетрясения, в образовавшуюся 6-метровую трещину свалились четыре человека вместе с мулом и утонули в заполнявшей трещину зеленовато-желтой грязи.

В долине Брахмапутры, значительно южнее Гималайских гор, колебания почвы были настолько сильными, что многие жители испытывали приступы морской болезни. Автомашины были отброшены на расстояние до 800 метров. Трехсотметровый участок железнодорожного полотна оказался опущенным почти на 5 метров, а дороги полностью разрушены. Наибольший ущерб был нанесен богатейшим чайным плантациям Ассама.

Бесчисленные горные потоки, вздувшиеся в период муссонных дождей, оказались запруженными оползнями, и на короткое время русла их ниже запруд пересохли. Однако через несколько дней вновь возникшие озера наполнились до краев и хлынувшие поверх воды стремительно размывали рыхлые завалы. Бешеные потоки с гор затопили долину Брахмапутры на площади в несколько тысяч квадратных километров, смывая плодородные почвы чайных плантаций, и на долгие годы превратили цветущую долину в зловонное болото, полное мертвой рыбы.

Анды продолжают подниматься

22 мая 1960 года спокойствие в горной области на западном побережье Южной Америки было нарушено землетрясением. Произошло оно в океане неподалеку от города Вальдивия, Чили. Будучи самым сильным из всех землетрясений нашего века, оно в шестой раз — за четырехсотлетнюю историю его существования — пол-

ностью разрушило город Консепсьон. В развалины были превращены Вальдивия, Пуэрто-Монт и другие города. Огромные волны стремительно разошлись по Тихому океану. Древние вулканы, пробудившись ото сна, стали извергать лаву и пепел. Подземные толчки, извержения вулканов и оползни затронули площадь свыше 200 000 квадратных километров, превратив в руины территорию, которая по площади превышает Великобританию! В районе великолепных горных озер обрушились скалы и высокогорная область протяженностью в сорок километров сместилась на триста метров. Спасаясь от огромных волн, хлынувших на побережье, люди в панике устремились на соседние возвышенности, но и оттуда были сброшены в море оползнями. Пятьдесят тысяч домов превратились в развалины. Около четверти 7-миллионного населения Чили оказалось в бедственном положении, страдая от холода и голода. Была прервана связь, разрушены системы водоснабжения и линии электропередач, и не было никакой возможности оказать населению хотя бы элементарную медицинскую помощь. Толчок был такой колоссальной силы, что колебания, распространившиеся по всему земному шару, не затухали в течение нескольких дней.

В наш век, обладая солидными научными знаниями о строении Земли, человечество в состоянии защитить себя от трагических последствий землетрясений. Восстанавливая разрушения на юге Чили, ученые и инженеры стараются сделать все возможное, чтобы Консепсьон и другие города как можно меньше пострадали бы от повторных подземных толчков.

II. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ СУЕВЕРИЯ И СТРАХИ

Вначале соберите факты, а извратить их вы сможете на досуге.

Марк Твен

В 1946 году мы вчетвером — трое сотрудников Управления береговой и геодезической службы, а четвертый из университета Фордхэм — оказались на о-ве Гаити. Сильный подземный удар причинил большие повреждения Сант-Яго и ряду других северных городов Доминиканской Республики. Землетрясение произошло в море в районе девятикилометровой впадины Браунсон, вызвав огромные волны, которые усугубили разрушения.

Мы находились в Сант-Яго по приглашению — я чуть было не сказал «по приказу» — диктатора Рафаэля Трухильо, единолично вершившего делами республики и судьбами людей. Обеспокоенный беспорядками, которые были вызваны последствиями землетрясения, он решил успокоить народ. Многие доминиканцы, бросив работу, все время проводили в молитвах и стенаниях. В тщетных попытках умиловить разгневанного бога они усердно каялись в содеянных грехах, посыпая свои головы пеплом.

Намереваясь любыми средствами заставить людей вернуться к работе, Трухильо попросил нас обследовать районы землетрясения и определить, миновало ли все самое худшее. По его приказанию издатели газет под крупными заголовками сообщали о «благородной миссии североамериканских ученых». Диктатор надеялся, что своими публичными выступлениями мы сможем успокоить население. Как оказалось, нам удалось оправдать его надежды. Землетрясение в самом деле было позади, если не принимать в расчет обычной довольно длительной серии завершающих толчков. Осмотрев разрушения и ознакомившись в обсерватории с записями колебаний современными чувствительными приборами, мы сделали

нужные сообщения, и народ приступил к работе, а Трухильо — к своей деятельности.

Мы уже упоминали о людях, искренне веривших, будто землетрясение в Порт-Ройяле — это проявление гнева господнего за грехи людей. Трудно поверить, что в наш просвещенный век есть еще люди, которые настолько боятся землетрясений, что способны иступленно истязать себя, пытаясь этим искупить свои грехи и отвести беду. Как же, по их мнению, удастся Всевышнему вызвать грандиозные потрясения?

Обратившись к истории, мы обнаруживаем, что подобные представления берут свое начало от фантастических взглядов наших далеких предков на мир и все происходящее в нем. Истинная сущность природных явлений была для них непостижима.

*Кто повинен в землетрясениях: змеи, лягушки
или какие-либо другие твари?*

Одно из наиболее привычных и естественных состояний человека — постоянное ощущение силы тяжести. Это чувство относится к числу прочно усвоенных фактов; подобно тому, как известно, что огонь всегда обжигает, а вода — мокрая. Не удивительно, что уже на заре истории люди пытались установить, на чем же держится Земля. Проблема эта, естественно, глубоко волновала человеческие умы того времени. Пытливо исследуя окружающий мир, но не имея возможности понять его и осмыслить, они представляли его таинственным и полным волшебства.

Благодаря исследованиям Дона Лита, сотрудника Гарвардского университета, мы имеем возможность познакомиться с некоторыми представлениями древних. Я позволю себе пересказать несколько легенд из его книги «Причины катастроф». Часть легенд излагает фантастические представления обывателей; другие некогда были выдуманы какими-то ловкачами, явно стремившимися поразить воображение окружающих своими познаниями и прослыть волшебниками. К сожалению, люди подобного склада еще встречаются и поныне.

По преданию одного бирманского племени, Земля окружена кольцом из змей. Если какая-нибудь из них, приняв по ошибке свой хвост за нечто съедобное, начинала



Некогда в странах Азии полагали, что Землю поддерживает лягушка.

Когда она передвигалась, Земля сотрясалась. Люди верили, что в этом заключается причина землетрясений. В те времена не знали того, что знаем мы: ни огромного размера Земли, ни того, что она круглая.

ловить его, то вызванные ею сотрясения распространялись по всей Земле. Жители Молуккских островов также верили, что причиной землетрясений являются змеи. Согласно индийской легенде, Землю поддерживает множество змей, не давая ей упасть в море. Перебрасывая свою ношу друг другу, они якобы вызывают землетрясения.

Существует немало вариаций на эту тему, и всегда в них фигурируют животные. В древние времена они играли особенно важную роль в жизни человека. Крупные животные восхищали древних своей силой; ничего удивительного, что они казались предназначенными для выполнения наиболее ответственных задач. В Восточной Индии, например, считалось, что Землю поддерживает буйвол. На острове Целебес эту роль выполнял боров; почесываясь о пальму, он раскачивал Землю и этим вызывал землетрясения. Монгольские ламы — буддий-

ские священники — утверждали, будто бы бог препоручил заботы о Земле специально сотворенной для этой цели чудовищной лягушке. Всякий раз, когда она делала движение какой-либо частью тела, в ближайших областях Земли возникали землетрясения.

Еще больше воображения в одной легенде восточноафриканских племен. В ней рассказывается о рыбе, плавающей в море с камнем на спине. На камне стоит корова, а поверх необычного сооружения, насаженная на рог, покоится Земля. Время от времени, устав от тяжести Земли, корова перекладывает ее с одного рога на другой. Сотрясения, вызванные этим, и есть землетрясение!

Подобные представления получили широкое распространение и пользовались популярностью даже среди греков и римлян, обладавших более высоким уровнем развития. Постепенно люди поняли абсурдность представлений о животных-монстрах, которых никто не видел в глаза. Появилась потребность в других объяснениях, которые, как считали в те времена, были более правдоподобными.

Так у древних появились особые боги и титаны. У греков это был Атлас, славившийся своей силой; он-то и держал на своих плечах Землю. Однако виновником частых землетрясений был не он. Считалось, что землетрясения чаще всего происходят вдоль побережья, поэтому их связывали с греческим богом морей — Посейдоном (у римлян — Нептуном). Его называли также «Колебателем Земли».

В очень поэтичной румынской легенде говорится, что Земля покоится на трех священных столпах — Вере, Надежде, Любви. Искусно играя на религиозных чувствах людей, легенда объясняла, что подрыв любого из этих моральных устоев безнравственными поступками вызывает сотрясение Земли.

Многих философов древности интересовали причины землетрясений. О них упоминается в трудах Сенеки, Плиния, Аристотеля и других. Римскому поэту Овидию Земля казалась одушевленным и крайне чувствительным существом. Пытаясь укрыться от палящих лучей, грозящих ей гибелью, она в страхе содрогается. Подобное представление Овидия частично перекликается с бытующим кое-где и поныне мнением, что причиной землетрясений

следует считать взрывы под землей, которые отмечаются только в жаркую погоду.

В древности люди полагали также, что падающие на землю посторонние тела создают огромное давление. Вызванное им уплотнение горных пород они воспринимали как землетрясение. Греческий философ Анаксагор (V век до н. э.) связывал землетрясения с воздействием особого эфира (который, по-видимому, соответствовал нашему понятию атмосферы), попадавшего на землю вместе с дождем. Другой философ, Демокрит, живший в то же время, считал, что землетрясения вызываются дождем или просачивающейся из морей и озер водой.

Аристотель и другие мыслители прошлого

Греческий философ Аристотель, живший в IV веке до н. э., — одна из самых известных личностей в истории. Разумеется, современным людям многие его взгляды кажутся просто нелепыми. Аристотель по-своему пытался объяснить все природные явления. В те времена люди еще не владели методами строгого научного анализа, которые сейчас лежат в основе наших исследований явлений природы.

Современные научные представления основываются на объективном анализе тщательных наблюдений. Задача исследователя заключается в выборе достоверной информации о том или ином природном явлении, а не в поиске подтверждения априорной идеи. Сопоставляя и логически анализируя твердо установленные факты, ученые выявляют законы развития природных процессов. Если какой-либо вывод сомнителен или высказывается лишь в качестве предположения, то его рассматривают как гипотезу или же просто как предположение, которое нуждается в дальнейшем уточнении.

Вызывает некоторое удивление тот факт, что древние философы — люди в высшей степени одаренные — не смогли усвоить основное требование научной объективности: верить только тому, что со всей очевидностью вытекает из наблюдений и поддается логическому объяснению. Выдающимся мыслителям, в частности Аристотелю, непростительны заблуждения об истинной сущности многих природных явлений.

Для Аристотеля «привлекательность» его собственной идеи была главным мерилom ее ценности. Обладая богатым воображением, он мог привести доводы в пользу любого предположения — что и делал, отбрасывая не устраивающие его факты! Он украшал свои тщательно отшлифованные рассуждения пышными фразами, словно именно это делало их более убедительными и бесспорными. Поэтому многие его утверждения фантастичны и смехотворны. Но это его нисколько не беспокоило. Он рисовал широкую картину природных явлений, которая не имела ровно никакой ценности. Некоторые его воззрения сохранились до наших дней, время от времени они неожиданно всплывают, вызывая раздражение своей полнейшей нелепостью.

После долгого обсуждения трудов Демокрита и других философов Аристотель предложил собственное объяснение причин землетрясений со множеством самых фантастических подробностей. Он, например, сравнивал землетрясения с приступами озноба у людей, больных лихорадкой, и впервые ввел понятие о четырех элементах: этими элементами, позднее всеми признанными, являются огонь, воздух, вода и земля. По мнению Аристотеля, именно различными их сочетаниями объясняются такие хорошо известные природные явления, как ураганы, извержения вулканов и землетрясения. Из его пространных трактатов о сущности явлений мы узнаем, что землетрясения вызываются главным образом просачиванием заключенного в пещерах под большим давлением воздуха.

Это представление Аристотеля не отличалось новизной. Подобные идеи высказывались и другими мыслителями древности. Так, живший в I веке н. э. римский философ-стоик Сенека спрашивал: «Может ли кто сомневаться в том, что Тера и Теразия в IV веке до рождения Христа и этот остров, буквально на наших глазах поднявшийся со дна Эгейского моря, появились на свет божий под давлением воздуха?»

Аристотель считал также, что землетрясения чаще всего происходят во время лунных затмений и сильнейших ураганов. Но и эти его утверждения не верны. Ошибочные представления о связи землетрясений с метеорологическими условиями, которым, по-видимому, еще долгое время суждено вводить людей в заблуждения, надо полагать, стали популярными благодаря необузданной фантазии

Аристотеля. Более того, его трактаты — это неисчерпаемый кладезь и других, не менее фантастических предположений.

Почти два тысячелетия спустя Шекспир в своей драме «Генрих IV» представил образную картину лондонского землетрясения 1580 года. Один из героев пьесы, Глендаур, сравнивает Землю с живым существом: «Земля до основания содрогалась, как жалкий трус». В «Макбете» мы также читаем: «И говорят, как в лихорадке тряслась земля».

Английский писатель Томас Твайн, очевидец лондонского землетрясения, дал более полное его описание. Наблюдения Твайна отличаются достоверностью и точностью, хотя форма изложения кажется нам несколько архаичной. В его труде, название которого я не могу удержаться от искушения процитировать, приведена исключительно ценная информация о землетрясении, а называется он так: «Краткий, но обстоятельный трактат о причинах, признаках и последствиях всех землетрясений вообще; с особым вниманием обсуждается удивительное и страшное деяние Всевышнего — сотрясение не только города Лондона, но и большей части Англии, случившееся около шести часов вечера в последнюю пасхальную среду, в день 6 апреля 1580 года после рождества Христова».

В этом трактате Твайн пишет, что некоторые люди «треск деревянных перегородок приписывали крысам или мышам; покачивание кроватей, столов и стульев — собакам... колебания заставили колокола в некоторых церквях прозвонить единожды или дважды...» В приведенном отрывке со всей очевидностью проявляется двойственность взглядов Твайна на причины землетрясений: будучи верен традиционным представлениям Аристотеля, с одной стороны, он начинает придерживаться мнения о божественной природе землетрясений — с другой. В ту эпоху уже утвердились взгляды, что все на земле совершается по воле бога. В этом нет ничего удивительного — ведь причины природных явлений и механизм их осуществления были не подвластны пониманию людей.

Разумеется, все это мы говорим не в упрек Шекспиру или Твайну, которые придерживались фантастических представлений о землетрясениях; они не были учеными и жили в мире, полном суеверий.

Долгий период религиозного догматизма

С библейских времен сильно развитые религиозные чувства людей, естественно, сказывались на восприятии окружающего их мира. Например, в Италии в эпоху раннего христианства получила широкое распространение легенда, будто бы еврей Малко, ударивший Христа, когда тот взбирался на Голгофу, был приговорен к наказанию: он должен был поворачивать столб, поддерживающий Землю. Время от времени он ударял по столбу в надежде, что Земля расколется и он будет освобожден от своей бесконечной муки.

Византийский император Юстиниан, правивший в VI веке н. э., указом ввел смертную казнь за целый ряд преступлений, в том числе за богохульство и ворожбу на волосах с чьей-либо головы, так как считалось, что эти поступки вызывают грозы и землетрясения. По мнению современного писателя Кэмпбелла, поведение императора вполне оправдано, поскольку тот верил в это. Я полагаю, что мы можем согласиться с ним.

Со временем взгляды на причины землетрясений стали менее фантастичными, но по-прежнему находились под сильным влиянием религиозных предрассудков, поскольку истинные причины оставались неясными.

В 1661 году вышел в свет трактат Томаса Барнета, изданный на латинском языке — классическом языке науки. В нем Барнет предсказывал, что земля, уцелевшая после всемирного потопа, вновь испытает катастрофические разрушения от землетрясений и огня. В первую очередь этому подвергнется Рим, так как именно там не разделяли религиозных убеждений Барнета. Самая же неприятная участь предназначалась Англии: залежи угля, таящиеся в ее недрах, возгорятся жарким пламенем!

Перепуганные всеми предсказаниями, европейцы заполнили церкви. Они составляли исключительно благодатную аудиторию для невежественных церковников, призывавших их к покаянию, послушанию и почитанию религиозных нравственных устоев. Как писал в 1777 году Джон Уэсли, видный церковный деятель: «Землетрясение — это наиболее впечатляющее проявление «божьей кары», оставляющее глубокий след в памяти очевидцев».

В самом начале заселения района Новой Англии объявился некий проповедник, который заявил, что землетрясения — это не что иное, как «карающая (и очищающая) мера наказания Творца». Свои «доводы» он подкреплял ссылкой на то, что землетрясения разрушают только города, а «не голые скалы или пустынные песчаные побережья». Его, как и Аристотеля, нимало не смущало, что подобное утверждение не соответствовало истине. Он и не помышлял о необходимости проверки справедливости своего утверждения.

Длительное время люди ошибочно полагали, что землетрясения происходят только в населенных районах. Это заблуждение объяснялось слабой заселенностью отдельных районов и отсутствием приборов, способных указать точное местоположение удаленных толчков. Немалую роль сыграло и то обстоятельство, что Британское королевское общество в 1752 году опубликовало сообщение о том, что землетрясения действительно происходили в тех районах, население которых нуждалось в наказании. Подобные глубоко ошибочные, полные суеверия выводы о причинах природных явлений напомнили мне рассказ об одном экспериментаторе, который обучал блох прыгать только по команде. Совершенно случайно он вдруг обнаружил, что блохи отказываются повиноваться, стоит только оторвать им ноги. В своей тетради после этого он записал вывод о том, что без ног блохи перестают слышать.

Как мы узнаём в дальнейшем, землетрясения могут происходить повсеместно. Но вполне естественно, что наибольшее внимание привлекают те из них, которые разрушают жилища людей и осушают источники питьевой воды.

Некоторые практичные церковники сознавали необходимость более убедительного объяснения прихожанам происходящих событий и с этой целью обратились к философскому наследству знаменитого Аристотеля. Как заявил в 1727 году Джон Барнард, глава прихода Марблхэд, простые люди должны поверить, что в глубинах земли имеются пещеры или пустоты, в которых заключены воздух или вода. Под воздействием подземного огня они якобы взрываются, сотрясая почву, и извергают на поверхность клубы ядовитого газа, вызывающего ужасные болезни. Разумеется, все это происходит только по

воле творца и служит выражением его гнева. Подобное объяснение землетрясений, в какой-то мере действительно подтверждавшееся опытом, производило сильное впечатление на религиозных прихожан, и суровые проповеди Джона Барнарда вселяли страх в сердца людей.

Наука и невежды

В конце XVII столетия религиозные представления о причинах природных явлений стали приобретать весьма сомнительное наукообразие. Английский писатель Аддисон вывел тип проходимца, торговавшего пиллюлями, которые, по его уверению, служили «верным средством от землетрясений». Всерьез обсуждалась сверхъестественная природа катастрофических событий, и было широко распространено мнение, будто бы землетрясения — это месть ангела, сотрясающего воздух и колышущего землю в назидание грешникам.

В середине XVIII века население Новой Англии было всерьез обеспокоено слухами о том, что причиной землетрясений может служить «некая электрическая субстанция», которую якобы извлекли из атмосферы громотоводы Франклина, только что получившие распространение; особенно волновались жители крупных городов, например Бостона, где громотоводов было особенно много.

Подобные заблуждения—явление не редкое. Они были свойственны людям как во времена Аристотеля, так и по сей день. Невежественные обыватели, не понимая сути тех или иных научных открытий, нередко усматривают зависимость между совершенно не связанными между собой явлениями. Кто не слышал разговоров о том, что испытания атомных бомб — причина ливней или, наоборот, засух, а иногда даже и болезней зерновых культур! Находятся люди, которые возмущаются тем, что ученые не прислушиваются к их идеям о предотвращении тропических ураганов и извержений вулканов посредством взрывов атомных бомб. В наши дни встречаются даже чудачки, считающие, что с помощью магнитов можно изменить земное притяжение или заставить повозки двигаться вверх. Обилие таких бессмысленных идей поразительно.

Величайшая катастрофа XVIII века — лиссабонское землетрясение — привлекла внимание широкого круга людей к этим загадочным природным явлениям. Правда, достигнутые успехи в познании их истинной природы были весьма незначительны, зато вымысел расцвел на благодатной почве. И если ученые пытались как-то разобраться в случившемся, то нашлось немало людей, цинично занявшихся подсчетом наследства, оставленного погибшими во время катастрофы, и доходов каменщиков, которые будут восстанавливать город.

Лиссабонская катастрофа потрясла умы выдающихся людей того времени. В предисловии к своей «Поэме о лиссабонской катастрофе» Вольтер упрекал циников и самодовольных глупцов, не понимающих всего трагизма случившегося. В повести «Кандид» он вновь подробно остановился на этих событиях. Друг Кандида, Панглос, напоминает, что за год до этого город Лима в Южной Америке также подвергся землетрясению. Явления эти весьма сходны между собой, объясняет он, и, по всей вероятности, они возможны лишь потому, что под землей между Лимой и Лиссабоном тянется жила серы!

Автор «Кандида» осуждал и высмеивал популярнейшее в те дни убеждение, будто бы «все к лучшему в этом лучшем из миров». Отношение самого Вольтера к этому превосходно видно из следующего эпизода. Кандид и Панглос, схваченные как безбожники сразу же по прибытии в Лиссабон, в конце концов становятся жертвами аутодафе — церемониального суда и казни еретиков сожжением на костре. Такие процессы были обычным явлением во времена испанской инквизиции. В повести Вольтера богословы из Коимбрского университета заявили, что сожжение нескольких еретиков или грешников послужило бы в будущем отличной мерой предотвращения землетрясений. (Подобное заявление было вполне в духе архиепископа Трира, который широко практиковал такие казни; за полтора столетия до описываемых событий ему ничего не стоило сжечь 120 немцев только за то, что они якобы мешали наступлению хорошей погоды!)

По свидетельству Кандида, власти Лиссабона арестовали одного баска, посмевшего жениться на крестной матери, и двух горожан, которые выдали свое еврейское

происхождение отказом съесть цыпленка, зажаренного на свином сале. За эти «преступления» городские власти публично сожгли бедняг на медленном огне; Панглоса чуть не задушили на виселице, а Кандида подвергли порке. И все это во имя того, чтобы застраховать себя от повторных землетрясений! Но это им не помогло: в тот же день город вновь испытал разрушительное землетрясение. Так Вольтер стремился показать, что вовсе не все было «к лучшему в этом лучшем из миров».

Вымышленные события повести всего на несколько лет превосхитили истинное аутодафе, которое состоялось в 1761 году и последовало за землетрясением. В то время министром иностранных дел, руководившим восстановлением Лиссабона, был маркиз Помбаль. Человек дела, он не терпел кликуш, религиозных фанатиков и всех тех, кто тормозил проведение работ. Его страшно раздражал общий любимец — священник Малагрида, некогда пользовавшийся покровительством королевской семьи, а теперь занятый тем, что усиленно пропагандировал отказ от активных действий и молитвы. Такое поведение священника шло вразрез с планами Помбаля, и он передал его в руки инквизиции. После жестоких пыток Малагрида был приговорен к сожжению, что и было выполнено на площади Россио.

Помбаль раздражало также нежелание населения участвовать в работах по расчистке города. По мнению горожан, не было никакой нужды торопиться с разборкой руин и ликвидацией антисанитарных условий. Некий врач Да Сильва даже уверял, что Лиссабону не грозит эпидемия чумы, ибо эта болезнь может начаться только в Африке. В годовщину землетрясения Помбаль был вынужден арестовывать лиц, которые предсказывали повторное землетрясение. Слухи эти распускали грабители в надежде испугать жителей и заставить их покинуть дома.

События в Лиссабоне вызвали ожесточенные и длительные религиозные споры. Отправным пунктом их был вопрос: являются ли землетрясения «естественным» событием, т. е. катастрофическим природным явлением, или же это проявление гнева Всевышнего, наказание за безнравственное поведение грешников? Но даже те, кто отстаивал точку зрения о естественной природе землетрясений, поспешно добавляли, что, «разумеется, бог может использо-

вать их (то есть землетрясения) по своему разумению как меру наказания». По-видимому, они боялись преследования инквизиции: в те времена могущество инквизиции страшило многих.

Но основная причина этих бесконечных споров заключалась в том, что никто не знал, отчего происходят землетрясения. Наука была бессильна дать правильный ответ на этот вопрос. Полной ясности не достигнуто и поныне. Современным ученым до сих пор не удалось изучить причины землетрясений столь детально, как им хотелось бы, а в народе продолжают бытовать фантастические представления.

Чему же все-таки верить?

При землетрясениях часто отмечают непонятное свечение, похожее то на яркие вспышки, то на столбы света, а иногда на сполохи или светящиеся шары, мягкую подсветку и даже на слабые красноватые отблески на облаках или земле. Как утверждают, свечение удастся заметить и в дневное время. Но это не столь уж удивительно — аналогичная картина наблюдается и при вспышке обычной молнии. Иногда землетрясения сопровождаются электромагнитными бурями, но свечение отмечалось и тогда, когда бурь не было. Особенно много говорилось о свечении после землетрясения в Нью-Мадриде. Некоторые местные жители даже полагали, будто они являются свидетелями настоящего извержения, хотя ученые уверяют, что в этом районе извержения вулкана не произойдет по крайней мере в течение нескольких миллионов лет, а может быть, и вовсе никогда не будет. Во время землетрясения в Нью-Мадриде вверх поднялись громадные облака пыли. Вполне возможно, что они-то и могли послужить источником световых сполохов (по аналогии с дождевыми облаками).

Знаменитый Монтессю де Баллор — один из первых исследователей южноамериканских землетрясений — досконально изучил все, что так или иначе относится к этому явлению. Ему удалось отыскать людей, видевших, как во время землетрясения искрились телеграфные и электрические провода. Современные поселения и города насыщены линиями электропередач; поэтому при достаточном сильных толчках, сопровождающихся разрывом линий,

возможно появление ярких вспышек света. Во всяком случае, сами землетрясения не могут служить источником света, и нам остается лишь строить догадки, что же является его причиной¹.

Иначе обстоит дело с широко распространенным в народе мнением о зависимости землетрясений от погоды. Английский философ и историк XIX века Карлайль по поводу Французской революции сказал: «Мечты о лучшем будущем предшествуют революции так же, как хорошая погода — землетрясению». Единственный недостаток этого утверждения — то, что оно неверно. Многие из тех, кто верит в существование такой связи, утверждают, что жаркая и влажная погода обязательно должна завершиться землетрясением. Имеется множество примет, но все они имеют случайный характер и при проверке не подтверждаются. Профессор Конрой, который проанализировал состояние погоды перед землетрясением 1933 года в Лонг-Биче, шт. Калифорния, не установил никаких отклонений. Японский ученый Омори провел аналогичные исследования восемнадцати крупных землетрясений у себя на родине и также не обнаружил никакой связи их с погодой. Поэтому мы можем с уверенностью отвергнуть идею о связи землетрясений с погодой².

Широкой популярностью пользуются также рассказы об образующихся при землетрясениях огромных трещинах в земле, в которых исчезают целые деревни. Известны случаи, когда люди и окружавшие их предметы действительно исчезали в зияющих трещинах или же были захвачены оползнями. Но следует помнить, что образование трещин — всего лишь поверхностное явление, а не раскрытие недр земли. Сколько бы об этих трещинах ни говорили — они все же встречаются крайне редко. Как установил известный сейсмолог профессор Имамура, за всю историю Японии не было ни одного случая, когда можно было бы с уверенностью утверждать, что людей или животных действительно поглотили такие трещины. Подобные рассказы сильно преувеличены.

¹ Однако световые явления наблюдаются при землетрясениях, и, возможно, они связаны с электризацией трением при дислокациях. — *Прим. ред.*

² Иногда вариации атмосферного давления являются силами «спускового механизма» при почти критических величинах напряжений в земной коре. — *Прим. ред.*

Дикie горы Ассама отказались что-либо рассказать ученым о том, что им довелось увидеть во время сильнейшего сотрясения 1950 года. Они верили в старую поговорку: «Стоит только подумать о дьяволе, как он не замедлит явиться». Вместе с тем среди наших современников встречаются иногда люди, которые, брагуируя собственной храбростью, заявляют, что они живут в сейсмически активных областях. Но эти области достаточно обширны. И подобные высказывания — не что иное, как следствие все еще бытующих предрассудков и неоправданных страхов. Они напоминают мне рассказ об одной женщине, которая отрицала собственное суеверие, ибо считала цифру тринадцать счастливым числом!

III. КАК ЖЕ В ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРОИСХОДЯТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Все течет, все изменяется.

Гераклит

Дикие, заросшие непроходимыми лесами горы Новой Гвинеи, метров на 600 выше любой вершины в Калифорнии или Колорадо, поднялись со дна океана в недавнем геологическом прошлом. Они очень молоды — гораздо моложе Европейских Альп.

Люди, имеющие возможность подняться на пик Санто-Томас, который возвышается на две с лишним тысячи метров над центральной равнинной частью острова Лусон в системе Филиппинских островов, могут найти там окаменевшие древние морские раковины. Перед пассажирами воздушных лайнеров, пролетающих над Андами между Чили и Аргентиной, открывается величественный вид на высочайшую вершину западного полушария — пик Аконкагуа высотой в 7035 метров. Отвесные склоны пика исполосованы в разных направлениях пластами песчаников и известняков, отложившихся множество веков назад в ныне исчезнувших морях.

Атоллы в западной части Тихого океана представляют собой коралловые рифы, выросшие над вершинами опустившихся гор. «Строители» этих островов — коралловые полипы — по мере погружения постепенно доращивали их, постоянно оставаясь на уровне поверхности океана. При достаточно длительном времени такие постройки могут достигать колоссальных размеров.

Атолл Энвевоток, где неоднократно проводились испытания атомных бомб, — это известковая масса объемом свыше 1000 кубических километров, покоящаяся на вулканическом основании. Такого количества строительного материала хватило бы для постройки первоклассной дороги шириной более полутора километров и толщиной полтора метра протяженностью от Земли до Луны! И каждая крупница в этой огромной толще известняка отложена обитателями мелководья. Времени для строительства у них было достаточно!

Наша планета кажется нам прочной и незыблемой лишь потому, что мы имеем возможность наблюдать только незначительную часть происходящих на ней процессов. Геологи утверждают, что если бы можно было показать всю многовековую историю Земли за несколько минут, то перед нашими глазами предстала бы картина судорожно корчащейся, колышущейся, подобно живому существу, поверхности нашей планеты. Все находилось бы в постоянном движении и изменении. Разумеется, увидеть это в действительности нам не удастся, но горные породы раскрывают тайны Земли.

По обнажениям на обрывах гор и в ущельях рек можно судить о том, как происходило вздымание пород, слагающих ныне цепи гор. Пласты горных пород подняты на огромную высоту, сильно перемяты, скручены в складки самой причудливой формы; в одних случаях они стоят вертикально, в других — опрокинуты.

Такие преобразования осуществлялись в течение десятков и сотен миллионов лет. Эти периоды геологи называют эрами. За это время очертания морей и континентов неоднократно менялись. Но подобные изменения не всегда происходили спокойно и гладко. Горные породы иногда не выдерживали колоссальных напряжений и разламывались, будучи не в состоянии принять новую форму с достаточной быстротой.

Возрастающие усилия

Когда внешняя оболочка Земли трескается при растяжении, сдавливании или скручивании пород силами, превышающими их прочность, Земля содрогается. Именно эти явления и вызывают землетрясения.

По-видимому, со временем необходимые усилия возрастают. Это может быть вызвано либо расширением Земли и растяжением и разрывом ее внешних слоев, либо, наоборот, ее сжатием и сокращением поверхности Земли, которая, подобно коже высохшего яблока, как бы сморщивается и собирается в складки. Истинная причина происходящего пока еще нам не известна. Чтобы понять, что же именно происходит, необходимо знать хоть немного о строении нашей Земли и тех силах, которые



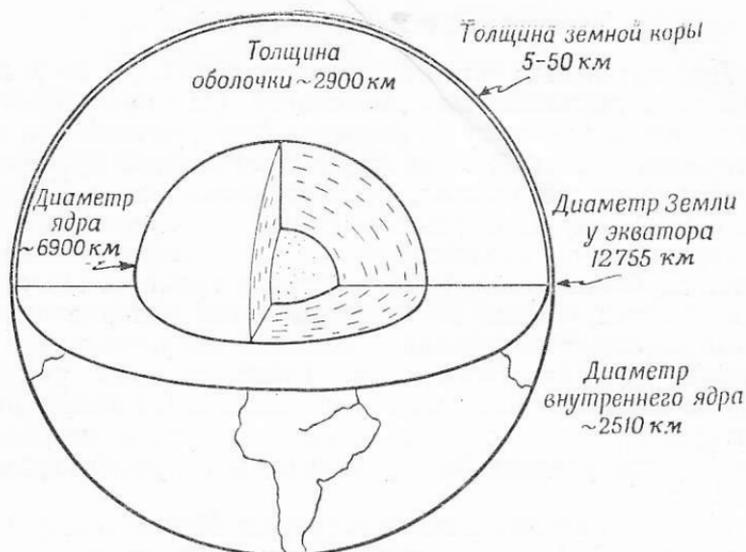
Обрыв с заметной нарушенной слоистостью.

деформируют ее кору. Разумеется, эта задача не простая, так как породы, лежащие на глубине в несколько километров, до сих пор остаются малоизученными и продолжают хранить свои тайны.

Сейчас любой школьник знает, что Земля имеет сферическую форму, слегка сплюснутую у полюсов и чуть выпуклую, как*располневший человек, по экватору. До эпохи великих географических открытий полагали, что Земля плоская, как доска. Даже в наши дни можно встретить немало людей, пытающихся обнаружить край Земли или же понять, почему корабли не падают! Нам, твердо усвоившим представление о шарообразной форме Земли, подобные утверждения кажутся глубоко архаичными. Мы не сомневаемся в своей правоте. На нашей стороне данные многочисленных измерений.

Коротко о земных недрах

Что же нам известно о строении Земли? Центральное ядро ее, подобно косточке персика (только более круглое), окружено внешними оболочками. Вполне возможно, что оно жидкое. По-видимому, температура ядра чрезвычайно высокая, но полной ясности в этом нет, ибо



Строение Земли по представлениям сейсмологов.

проверить это невозможно. По данным всемирно известного датского сейсмолога Инге Леман (одно время Леман читала курс лекций в Национальной академии в Вашингтоне), ядро в свою очередь имеет две оболочки: внутреннюю и внешнюю.

Радиус ядра чуть больше половины радиуса всего земного шара. За ядром следует оболочка, называемая мантией, в которой породы находятся уже в ином состоянии, но в каком — нам практически ничего не известно. Мантия занимает почти всю оставшуюся часть земного радиуса и лишь немного не доходит до поверхности Земли. Она в свою очередь делится на несколько более мелких зон.

Лучше всего нами изучено строение последней поверхностной оболочки, называемой корой. Под покровом рыхлых отложений — песка, гравия и глины — и обрабатываемым человеком почвенным слоем лежат твердые породы. Частично эти породы осадочного происхождения; они образовались из окаменелых осадков древних морей и озер, а также раковин и скелетов населявших их организмов. Другая часть пород образовалась при застывании расплавленных масс, в том числе извержений вулканов.

Происхождение названия «Мохо»

Доказательство существования земной коры было величайшим достижением сейсмологии. Оно принадлежит югославскому ученому по фамилии Мохоровичич. Его заинтересовала своеобразная картина записанных прибором колебаний землетрясения, которое произошло в Хорватии в 1909 году. Пытаясь объяснить показания прибора, Мохоровичич предположил, что между поверхностным и более глубоким слоем имеется резкая граница. Нижний слой, мантия, состоит из какого-то иного материала, который передает колебания с большей скоростью, чем в породах поверхностного слоя. Такие границы ученые обычно называют поверхностями раздела. По имени первооткрывателя эта важная граница получила название поверхности раздела Мохоровичича, или просто «граница Мохо».

Все, что находится выше «границы Мохо», именуется земной корой. Название это пошло от сходства поверхностного слоя Земли с неровной, похожей на кору, оболочкой. Строение земной коры путешественники довольно наглядно могут наблюдать¹ в гористых местностях. Там породы, слагающие земную кору, собраны в складки самой причудливой формы.

Относительно размера Земли кора очень тонкая — если сравнивать Землю с яблоком, то ее кора окажется гораздо тоньше яблочной кожуры. Толщина земной коры под океанами не превышает 5—8 километров, а под континентами составляет 30 километров и более. Как видим, расхождение значительное, и, естественно, возникает вопрос, чем же оно вызвано.

Породы земной коры гораздо легче пород мантии, и при формировании Земли — процессе, длившемся продолжительное время, — они поднимались на поверхность. Континенты и горные хребты подобны льдинам и айсбергам в океанах и морях. Огромные блоки земной коры как бы плавают поверх тяжелых пород мантии. Там, где кора толще, ее основание под действием веса лежащих выше пород глубже погружено в породы оболочки, или мантии. Именно поэтому поверхность «границы Мохо» под континентами глубже, чем под океанами. Особенно глу-

¹ Имеется в виду только поверхностная часть земной коры. — *Прим. ред.*

боку опущена поверхность Мохо под горными хребтами. Наиболее глубоко лежащие части гор называются *корнями*. Иногда они достигают 80 километров в глубину. Природные силы, выравнивающие нагрузки в различных участках Земли и известные под названием *изостатической компенсации*, приводят к тому, что с течением времени при достаточно большом давлении породы земной коры приобретают новые формы, превращаясь в горы или долины, континентальные равнины или морские впадины¹.

Некогда раскаленные породы земной коры постепенно охладились и стали хрупкими. Они пересечены множеством длинных, глубоких трещин, которые мы называем разломами. Некоторые из них столь велики и породы вокруг них настолько раздроблены, что не остается сомнений — именно эти разломы земной коры и послужили причиной землетрясений. Землетрясения, уничтожающие огромные города и оставляющие грандиозные шрамы на поверхности Земли, свидетельствуют о величии сил, изменяющих лик нашей планеты в соответствии с планами природы. Причин для подобных преобразований достаточно.

Грандиозная работа сил природы

Химические реакции и радиоактивный распад элементов в глубинах Земли могут вызвать разогрев и течение материала в ее чреве подобно жидкости. Это может привести к изменению давления под земной корой и к преобразованию ее формы. В вулканических очагах расплавленные массы пород создают колоссальное давление, а затем внезапно происходит его падение, сопровождающееся извержением лавы. Нечто подобное произошло в 1943 году при извержении вулкана Парикутин (Мексика), нагромоздившем на кукурузном поле огромные лавовые горы. Это в свою очередь вызвало оседание земной коры.

Таяние ледников, в далеком прошлом покрывавших значительную территорию стран северного полушария, уменьшило давление на земную кору настолько, что стал заметен ее подъем, продолжающийся и поныне. На аме-

¹ Это лишь одно из объяснений. Возможно, что причиной различной толщины коры являются различный состав и плотность пород коры и оболочки Земли.— *Прим. ред.*

риканском континенте, в бассейне Великих Озер, отчетливо виден все возрастающий наклон местности к югу. По данным точных измерений, он объясняется продолжающейся до сих пор реакцией земной коры на отступление последних ледяных полей, которое произошло около 10 000 лет назад. Другая такая активная область возникла в бассейне реки Св. Лаврентия. Здесь также происходит подъем местности, что видно по древним морским песчаным пляжам, обнаруженным на 200 метров выше уровня холмов неподалеку от Монреаля.

В Бостоне и Нью-Йорке зарегистрировано незначительное число толчков, и тем не менее, если судить по изменению уровня моря, эти города также поднимаются со скоростью около 30 сантиметров за 100 лет. Земная кора под этими крупнейшими городами Соединенных Штатов Америки, освободившись от тяжести ледников много тысячелетий назад, до сих пор продолжает выпрямляться¹.

По-видимому, основной причиной нарушений в земной коре служит вес переотложенного реками материала². Горы выравниваются под воздействием эрозии. От резкой смены тепла и холода породы растрескиваются и крошатся, а под влиянием химического воздействия воды, выветривания и истирающего действия ледников окончательно рассыпаются. Затем в виде песка и глины этот материал*попадает в моря. Реки размывают огромные ущелья, такие, как Большой Каньон реки Колорадо.

Разумеется, для этих процессов необходимо время, но в распоряжении природы миллионы и миллиарды лет! За долгие тысячелетия реки перенесли огромные массы материала. Ежегодно одна только Миссисипи сносит в Мексиканский залив осадки, достаточные для образования на месте моря острова площадью свыше 5 квадратных километров.

Груды материала, снесенные реками, отлагаются в устьях, образуя огромные дельты, как, например, у Нила или Миссисипи. Под тяжестью такой нагрузки земная кора начинает опускаться. По-видимому, именно это по-

¹ Эти процессы сложнее, чем представляется автору. — *Прим. ред.*

² Вес переотложенного материала не может быть главной причиной, ибо вертикальные движения известны и при отсутствии переотложенных пород. — *Прим. ред.*

служило причиной уже упомянутого нами землетрясения в Нью-Мадриде, которое повлекло за собой опускание огромной территории в долине реки Миссисипи. Породы земной коры оказались под тяжестью осадков, принесенных с доброй половины континента. Долгое время рыхлый материал с Аппалачских и Скалистых гор постепенно заполнял впадину, бывшую некогда огромным внутренним морем, которое занимало значительную площадь нынешнего бассейна реки Миссисипи.

Во всех приведенных примерах масштабы происходящих в природе процессов столь велики, что они не поддаются контролю человека. Но, как ни странно, люди, оказывается, могут и сами вызвать небольшие деформации земной коры. Разумеется, действия их не преднамеренные. Но вспомним, к каким последствиям привело строительство плотины Гувер-Дам неподалеку от города Лас-Вегас, шт. Невада. Эта плотина перекрывает озеро Мид — огромное искусственное водохранилище на реке Колорадо. Когда количество воды в озере достигло 40 миллиардов тонн — этого вполне достаточно для наполнения такого числа плавательных бассейнов объемом по 230 кубических метров, которое равно числу жителей Соединенных Штатов Америки. — то под ее тяжестью земная кора стала прогибаться. Были зарегистрированы небольшие толчки. Дин Кардер, сотрудник Управления береговой и геодезической службы, тут же на месте организовал обсерваторию и в течение нескольких лет изучал, какую угрозу могут представлять эти толчки для плотины. К счастью, они оказались неопасными.

Перенапряжение пород

Складки, трещины и разломы встречаются в породах почти повсюду. Некоторые разломы достигают поверхности Земли — в этом случае мы видим зоны дробленных, перетертых пород. Но большая часть их остается скрытой под тысячеметровыми толщами осадочных и кристаллических горных пород. Как полагают, центры землетрясений расположены в среднем на глубине 30 километров, но некоторые землетрясения зарождаются и на гораздо больших глубинах — порядка нескольких сот километров. Это свидетельствует о том, что даже в таких глубоких недрах, где господствуют высокие температуры

и огромные давления, породы могут быть хрупкими. Однако глубже 1000 километров землетрясения не известны. По-видимому, ниже этой отметки они не могут происходить, так как давление там настолько велико, что породы ведут себя подобно жидкости, теряя хрупкость и способность раскалываться и тем самым отличаясь от пород у поверхности.

Давление в глубинах Земли, особенно ближе к центру, так велико, что воспроизвести его в лабораторных условиях невозможно. Все, что находится на земле, давит вниз, к ее центру. Тысячи километров тяжелых горных пород, моря и океаны, горные хребты, высотные здания и даже автомашины на дорогах и бульдозеры на строительных площадках — все это давит на внутренние слои Земли¹. Мы не в состоянии представить себе, что происходит с атомами и молекулами веществ при столь огромных давлениях.

Кроме того, на глубинах свыше 1000 километров, вероятно, господствуют очень высокие температуры. Известно, что по мере опускания вниз температура в шахтах повышается. Все мы хорошо знаем о существовании вулканов, извергающих расплавленные потоки горных пород. Какова температура в глубинах Земли, нам не известно, но, несомненно, запасы химической и радиоактивной энергии вполне достаточны для нагрева пород до высокой температуры.

Те трудности, с которыми мы сталкиваемся при определении состояния пород во внутренних слоях Земли, в значительной степени обусловлены тем, что нам не известно, как же образовалась Земля. До тех пор пока не будет выяснен этот кардинальный вопрос, вряд ли нам удастся понять условия, существующие внутри Земли.

Землетрясения чаще всего возникают где-то поблизости от поверхности, поэтому можно не сомневаться, что со временем нам удастся гораздо лучше понять причины их появления. Обычно резкие толчки во время землетрясений ощущаются в ограниченных зонах большого протяжения. При этом часто возникают повторные дислокации по древним разломам, образовавшимся во время предыдущих землетрясений. Породы по противополож-

¹ Напомним, что сила тяжести в центре Земли равна нулю.—
Прим. ред.

ным сторонам разлома могут быть разорваны и смещены вдоль него в стороны, вверх или вниз до тех пор, пока не будет снято напряжение. Едва толчки затухают, как в новом положении все успокаивается и остается так впредь до нового напряжения, также сопровождающего себя коренной перестройкой структуры.

Разломы Земли

На связь разломов с землетрясениями впервые обратили внимание в 1819 году во время известного сотрясения в Ран-оф-Катч на побережье Индии. Обширнейшая низменная территория по одну сторону разлома опустилась ниже уровня моря, а по другую сторону участок суши на протяжении 130 километров был поднят почти на 6 метров. С того времени следы разломов на поверхности Земли там наблюдались после многих сильных землетрясений.

Такие вертикальные смещения горных пород приводят к появлению на поверхности Земли сдвигов и сбросов. При неоднократном подновлении разломов в течение длительного времени эти уступы могут стать очень большими, отчетливо заметными в рельефе—в этом случае их называют валами. Подобные возвышенности, круто обрывающиеся в одну сторону, известны во многих районах земного шара и обнаружены даже на дне морей. Длина некоторых из них достигает сотен и тысяч километров. Восточная сторона Сьерры-Невады (Калифорния) — вал, который частично замаскирован выветриванием и эрозией. Отвесные скалы Великого Африканского рифа, угрюмо нависшие над озерами Танганьика и Ньяса, также возникли в результате разломов.

Во время землетрясения в Анкаше в ноябре 1946 года по старому разлому, носившему название Квич и пересекавшему нагорье в Перуанских Андах, возник новый разлом. Исследуя центральную область землетрясения, Энрико Сильгадо и его помощники, около месяца путешествовавшие в этой отдаленной местности на лошадях и мулах, обнаружили два сброса (уступа), которые были удалены друг от друга на расстояние свыше 3 километров. Между уступами находился опущенный на 3 метра участок. Максимальная высота уступов достигала 3,5—4 метров.

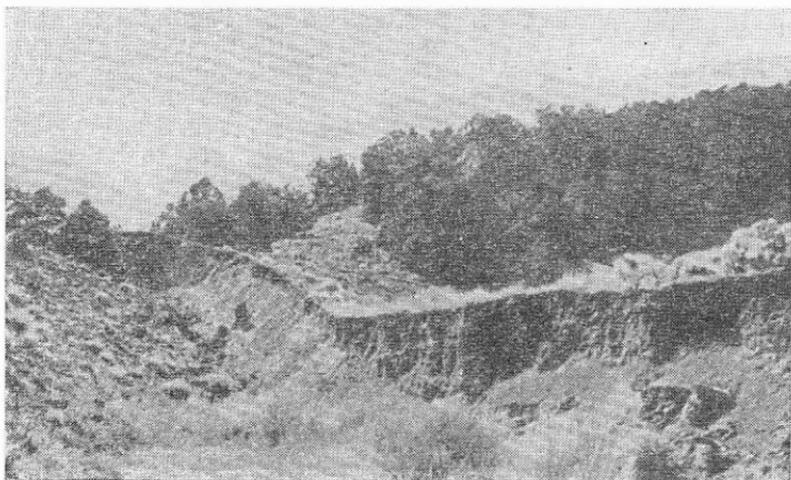
В 1955 году в Рено происходила сессия Американского сейсмологического общества, где обсуждались проблемы землетрясений. В перерыве между заседаниями была организована экскурсия для осмотра последствий недавнего сильного землетрясения в пустынном районе Невады, в 160 километрах восточнее Рено. Прибыв на место, участники экскурсии увидели растрескавшееся плотно шоссе, пересеченное совсем недавно образовавшимся разломом. Белая осевая линия на шоссе, обычно прямая как стрела, была разорвана и смещена в стороны на 10—15 сантиметров. По потрескавшейся почве пустыни можно было проследить разлом вправо и влево от дороги.

После утомительного подъема на вершину пика Фэрвью сейсмологи увидели уходящий вдаль поперек холмов и долин крутой обрыв высотой около 6 метров. Поднятыми на новый уровень оказались породы западного крыла разлома. Если не считать разломов Аляски, то это вертикальное перемещение пород, появившееся в итоге одного-единственного толчка, относится к числу самых крупных за всю историю землетрясений в Соединенных Штатах Америки.

Во время землетрясения 1899 года в окрестности гор Фэрвезер на юго-востоке Аляски скалистый мыс «Несчастья» поднялся из воды на высоту почти 14 метров. По высоте это максимальное из всех известных вертикальных перемещений горных пород, которые произошли в результате одного толчка.

Установить точную высоту подъема пород было нелегко. Ведь в прежние времена измерения уровня моря в этом районе не проводились; вначале не удалось обнаружить также и других общепринятых доказательств подъема суши в виде прибрежных пляжей, волноприбойных знаков на скалах или каких-либо примет на растениях, по которым можно было бы установить истинную величину вертикального смещения суши. Ее смогли определить лишь через несколько лет, когда для этой цели догадались использовать останки ракообразных. Она была установлена по разности высот между наивысшей точкой, где обитали живые рачки, и местом, где были обнаружены раковины.

Подобные изменения рельефа в этом районе будут происходить неоднократно и в дальнейшем, так как подь-



Уступ высотой 6 метров, образовавшийся во время землетрясения у вершины Фэрвью, шт. Невада (1956 год).

Этот уступ — самый крупный из всех известных в континентальной части США — возник в результате одного-единственного толчка.

ем его продолжается, о чем нам известно по изменению уровня моря. Как показывают измерения, за последние 50 лет суша здесь поднялась почти на полтора метра. Но не следует забывать, что новые землетрясения могут сопровождаться новыми разломами и последствия их могут быть самыми неожиданными. Ученые пока не в состоянии предсказать, когда и где они произойдут.

Не все внезапные перемещения земной коры удается объяснить с такой легкостью. 17 февраля 1931 года, через две недели после землетрясения в заливе Хоукс (Новая Зеландия), рабочие, находившиеся на острове в заливе Спондж, поблизости от города Гисборн, заметили появление из глубины моря сложенного галькой крутого обрыва; высота его достигала почти 2 метров. Никаких толчков или других признаков нарушения земной коры при этом не было. На месте, где в самый низкий отлив глубина воды достигала полуметра, образовался остров площадью около гектара. Вот такие запоздалые последствия землетрясений и дают превосходную пищу для появления всевозможных рассказов о таинственных, сверхъестественных событиях.

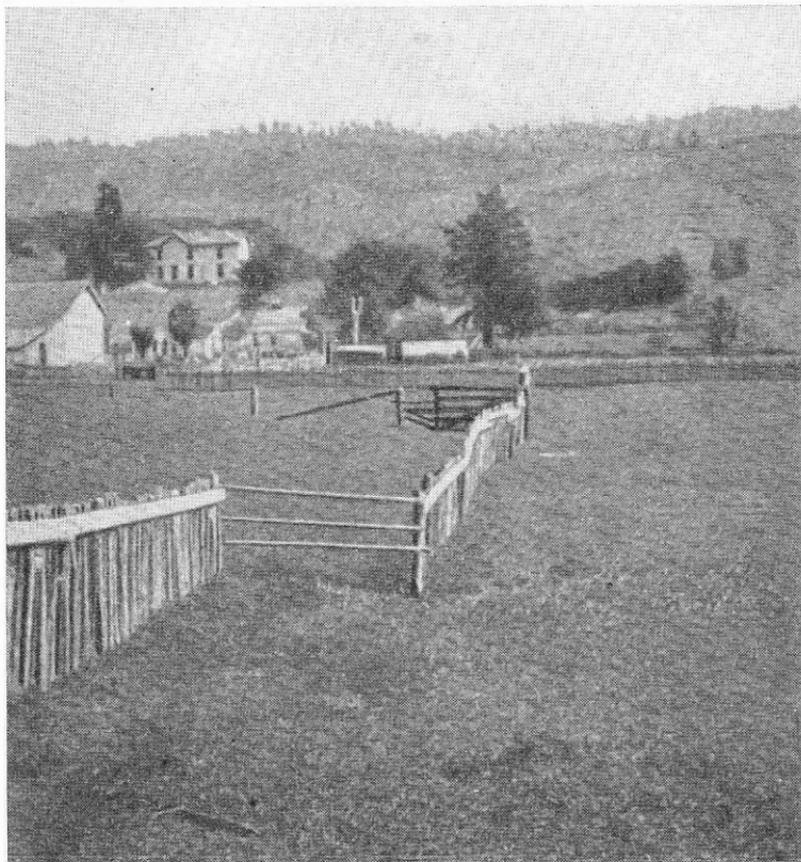
Грандиозный разлом Сан-Андреас

Смещения по разломам не обязательно происходят вертикально. Практически почти все перемещение вдоль разлома Сан-Андреас в Калифорнии оказалось горизонтальным. Однако последствия такого нарушения пород представляют собой не меньшую опасность, как об этом можно судить хотя бы на примере трагических событий в Сан-Франциско в 1906 году. Всю территорию Калифорнии, от пограничного с Мексикой района до побережья, где он скрывается под водами Тихого океана севернее залива Сан-Франциско, пересекает разлом протяженностью свыше 1100 километров. Во время землетрясения 1906 года породы по его западной стороне сместились к северу примерно на 7 метров. Расстояние между двумя горами по противоположным сторонам разлома увеличилось на 3 метра, а дороги, изгороди, ровные ряды фруктовых деревьев и даже тропинки около домов оказались разорванными, растащенными вдоль разлома!

Гарри Филдинг Рейд, член Государственной комиссии по изучению землетрясений в шт. Калифорния, высказал предположение, что в данном случае произошло крупное смещение участков суши, которое создало напряжение между ними. По его мнению, землетрясение было вызвано высвобождением энергии напряжения, медленно накапливавшейся в течение многих лет из-за постепенного горизонтального сдвига земной коры. Рано или поздно разрыв был неизбежен; вот он и произошел в 1906 году! Эта гипотеза, известная как «теория упругой отдачи», получила широкое признание, хотя противники ее и утверждают, что разломы — это *результат*, а не *причина* землетрясений. Разумеется, каждый волен высказывать свою точку зрения. Что же касается американских сейсмологов, то они поддерживают гипотезу Рейда.

Непрекращающиеся движения в Земле

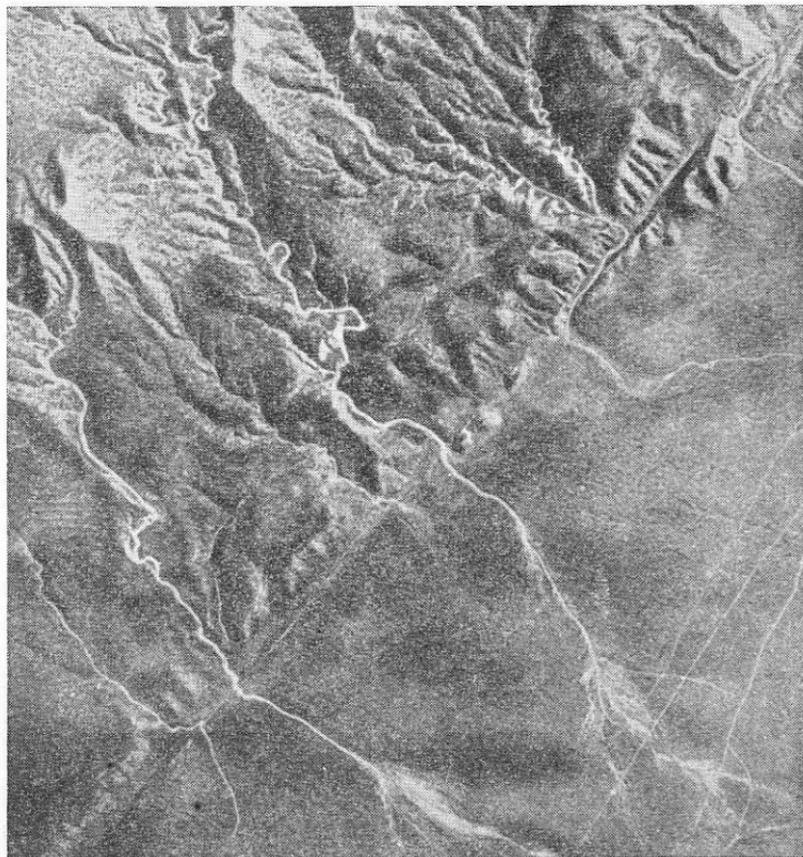
Измерения, выполненные правительственными топографами, подтвердили правоту Рейда. Огромная область к западу от разлома Сан-Андреас медленно, со скоростью всего 5 сантиметров в год, перемещается в северном направлении. На первых порах скорость эта кажется не слишком большой, но со временем в породах возникают



Сдвиг забора вдоль разлома Сан-Андреас во время Калифорнийского землетрясения 1906 года.

такие напряжения, которые в конце концов завершаются разрывом. Повторяясь неоднократно в течение многих веков, смещения достигли внушительного размера. Особенно наглядно это показывают данные аэрофотосъемки, из которых видно, что русла рек в местах пересечения их разломом в результате повторных землетрясений смещены на несколько сот метров.

Геологам удалось сделать еще более поразительное открытие. В ряде мест они обнаружили, что породы одной и той же геологической формации удалены по обеим



Вид на разлом Сан-Андреас с самолета.

В правом верхнем углу видны две реки, русла которых за многие тысячелетия оказались сдвинутыми смещениями по разлому. Остальные реки, видимые на снимке, появились позже разлома.

сторонам разлома на расстояние до 550 километров. Около 10 миллионов лет назад эти породы составляли одно целое. Сколько же понадобилось подземных толчков, чтобы раздвинуть их на такое расстояние!

Для проведения исследований специальные корабли были оборудованы приборами, позволяющими сравнивать магнитные свойства пород. Это позволило ученым обнаружить аналогичные смещения по разломам на дне Тихого океана к западу от Калифорнии. Несколько лет

назад океанологи нашли разломы в виде ступенчатых сбросов на дне океана.

Один из крупнейших разломов земной коры — уступ Мендосино — представляет собой вертикальный обрыв высотой около полутора километров, тянущийся по дну океана западнее мыса Мендосино на расстояние свыше 3000 километров. По разные стороны разлома породы одних и тех же геологических формаций оказались растащенными на 1000 с лишним километров. Это весьма важное открытие было сделано после многочисленных исследований, проводившихся с кораблей Управления береговой и геодезической службы, и тщательного анализа магнитометрических записей, выполненного сотрудниками Океанографического института Скриппса в Ла-Холье. Подобный метод сопоставления пород является вершиной научной мысли.

В свете сделанных открытий многие ученые стали уже не столь категорично отрицать смелую и по тем временам невероятную гипотезу великого английского философа XVII века Френсиса Бэкона. Теория Бэкона, позднее подробно доработанная Вегенером, долгое время не находила признания ученых. Суть ее заключается в том, что континенты в течение всей истории существования Земли, подобно айсбергам, дрейфуют по ее поверхности¹. Главным аргументом в поддержку этой гипотезы было удивительное сходство очертаний побережий Африки и Южной Америки. Считалось, что в далеком прошлом они были единым материком, а затем разорваны и растащены в стороны и между ними образовался Атлантический океан.

Как возник проект сверхглубокой скважины до «границы Мохо»

Наряду с изучением особенностей рельефа Земли, помогающих выяснению грандиозных преобразований земной коры силами природы, не следует забывать и о важности исследования земных глубин. «Граница Мохо» на-

¹ Причиной этого движения могут быть медленные конвекционные токи в оболочке Земли. Простое растаскивание тонких блоков земной коры на тысячи километров маловероятно. При таком горизонтальном движении толщина блоков должна быть сравнима с их горизонтальными размерами.— *Прим. ред.*

ходится в такой привлекательной близости от поверхности Земли, что ученые, исследующие различные проблемы науки о Земле, давно мечтают о том времени, когда они смогут пробурить ее и выяснить состав и состояние пород мантии.

В последние годы достигнуты значительные успехи в бурении глубоких нефтяных скважин, а также разработаны методы бурения, позволяющие проектировать бурение скважин в океанах, где земная кора тоньше всего. Используя новейшие достижения буровой техники, группа американских ученых заложила сверхглубокую скважину в том месте, где, по их мнению, толщина земной коры была наименьшей. Само собой разумеется, что этот проект получил название «Мохол», или «скважины Мохо». Теперь нам предстоит узнать, какие же новые сведения о строении Земли удастся получить в результате осуществления этого трудоемкого и смелого эксперимента. Кто знает, быть может, они помогут решить заветную, но пока еще безнадежную мечту ученых — предсказывать землетрясения?

IV. ГДЕ ПРОИЗОЙДЕТ СЛЕДУЮЩЕЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ?

Порой в великой книге тайн природы
мне удается кое-что прочесть.

Шекспир

По-гречески слово «сейсмос» обозначает землетрясение. Около столетия назад ирландский инженер Роберт Мале впервые ввел в употребление слово «сейсмология», назвав так науку о землетрясениях, а «сейсмологами» — лиц, которые занимаются их исследованием.

Люди нередко обращаются к сейсмологам с просьбами объяснить эти грозные природные явления и сказать, когда и где можно ожидать следующие землетрясения. Сейсмологам также очень хотелось бы получить ответ на эти вопросы.

Поиски секретов природы

Николас Хек, многие работы которого посвящены описанию землетрясений, считает, что наиболее впечатляющая особенность землетрясений — их неожиданность. Этим он как бы подчеркивает коренной недостаток сейсмологии — ее неспособность предугадывать землетрясения.

Но интерес ученых к проблеме велик, и работы в этой области не прекращаются. Исследователи пытаются понять природу сил, заключенных в недрах Земли. Вспомним один из грандиозных проектов нашего времени — скважину до «границы Мохо». По разрозненным следам землетрясений на поверхности сейсмологи стремятся изучить закономерности их возникновения.

По словам одного из крупнейших сейсмологов нашего времени Байерли, в сейсмологии, как и в любой другой науке, польза каждого установленного закона природы определяется тем, можно ли на его основе предугадывать ход событий. Но он не обещал, что когда-либо

людям удастся открыть закономерность, позволяющую предсказывать землетрясения.

Если же такой закон все-таки существует, то искать его следует в дебрях истории землетрясений. Только на основе анализа исторических фактов можно восстановить место и время землетрясений в прошлом, а уже затем построить график сейсмической активности, который, как полагают, позволит распространить обнаруженную закономерность и на будущее. Следовательно, нам необходимо знать, где же происходили землетрясения в прошлом и где они происходят теперь.

К сожалению, история землетрясений не отличается полнотой сведений. Известны далеко не все землетрясения в прошлом, а для известных не согласуются сроки. Например, в Китае регистрируют землетрясения вот уже 4000 лет, в Европе — 2000, а в Америке — всего лишь 400 лет. И только в XX веке, то есть всего каких-нибудь 60 лет, мы стали располагать информацией о землетрясениях в океанических областях. Это оказалось возможным благодаря применению современных совершенных приборов. В наиболее труднодоступных районах земного шара, таких, как Антарктида, сейсмические исследования стали проводиться только в самые последние годы.

Имеющиеся в нашем распоряжении сведения не дают истинного представления о сейсмичности отдельных районов по той простой причине, что для одних областей мы располагаем достаточно полной информацией, тогда как для других информация ничтожно мала. Правда, для районов, чаще всего подверженных землетрясениям, мы располагаем достаточным количеством сведений по истории землетрясений и превосходными картами сейсмичности. Анализируя повторяемость землетрясений в прошлом, мы, возможно, научимся предугадывать их частоту в будущем.

Сейсмические пояса Земли

Области, где землетрясения происходят наиболее часто, вытянуты в виде узких зон во многих районах земного шара. Известны по меньшей мере три такие зоны; специалисты часто называют их по-разному. По-видимому, добрая половина всех землетрясений зарегистрирована в огромной зоне, простирающейся от стран Сре-

земноморья через Малую Азию и высочайшую горную систему Южной Азии — Гималаи — до Тихого океана. Здесь она расширяется и соединяется с другой зоной, почти полностью опоясывающей Тихий океан. Крупнейшие землетрясения в Новой Зеландии, Японии, Аляске, Калифорнии, западной части Южной Америки попадают в эту кольцевую тихоокеанскую зону.

Третья зона, меньших размеров, прослеживается вдоль опустившейся под воду гряды гор, вытянутой от Северного Ледовитого океана далеко к югу. Интерес ученых к этой зоне особенно велик.

Все три зоны, так же как и ряд более мелких, второстепенных, пространственно совпадают с наиболее крупными горными системами Земли. Как уже отмечалось, одна из них включает высочайшую в мире цепь Гималайских гор. В пояса сейсмической активности входит и большинство внутренних морей: Средиземное, Красное, Каспийское, Карибское, а также цепочки океанических островов, называемые *островными дугами*. Примером их могут служить архипелаги Алеутских, Курильских, Вест-Индских и Гавайских островов. Они весьма любопытны и загадочны в геологическом отношении, но особый интерес представляет их высокая сейсмическая и вулканическая активность. Обычно такие острова располагаются поблизости от глубоководных океанических впадин, где происходят значительные перестройки земной коры; они образуют изогнутые цепочки, отчего и получили название «дуги». Они представляют собой вершины вулканических конусов, выросших по краям перемещающихся блоков земной коры.

Многие величайшие горные хребты окаймляют вдоль побережья глубоководные океанические желоба. Пологий склон от подножия гор до океанических впадин — арена действия горообразующих процессов, где происходит перестройка земной коры, часто сопровождаемая сильными землетрясениями. Многие горы — это не что иное, как вулканы; часть из них потухла, другая действует до сих пор, извергая пепел и лаву на поверхность Земли. Рассматривая карту сейсмической активности тихоокеанского пояса, японский сейсмолог Омори обратил внимание на его поразительное совпадение с очертаниями западного побережья американского континента. И в самом деле, это приметная особенность, однако

многие географы склонны объяснять ее только методикой составления карты.

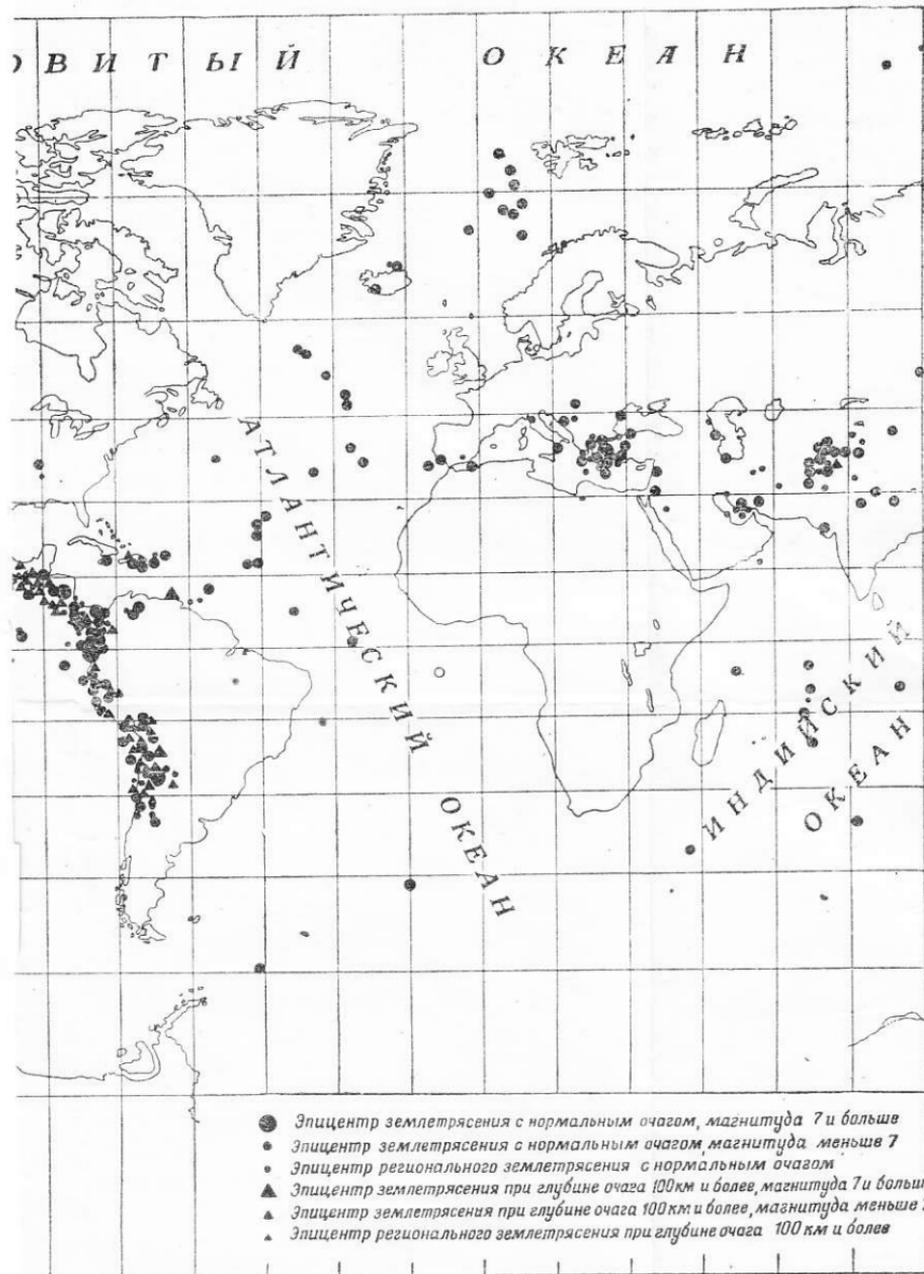
Вегенер, один из основоположников теории дрейфующих континентов, считал, что сейсмически активные пояса Земли совпадают с крупными ослабленными зонами в земной коре. Английский сейсмолог Тёрнер, бесспорно обладавший чрезвычайно живым воображением, предположил даже, что Тихий океан, окруженный сейсмически активными зонами, возник на месте оторвавшегося от Земли и улетевшего в мировое пространство куска — нашей Луны. Разумеется, это могло произойти (если вообще имело место) только на ранней стадии образования нашей планеты, задолго до появления человека. Ученые не придают большого значения гипотезе Тёрнера, но вынуждены признать, что при подобном отделении Луны действительно должны были бы образоваться сильно растрескавшиеся и ослабленные зоны.

Подсчитано, что в тихоокеанском поясе, на долю которого падает чуть менее половины всех известных землетрясений, высвободилось четыре пятых суммарной энергии всех землетрясений. Если это так, то в пределах пояса толчки в среднем сильнее, чем в других областях. Население Перу, Чили и Японии, постоянно страдающее от сильных землетрясений, несомненно, согласится с таким выводом.

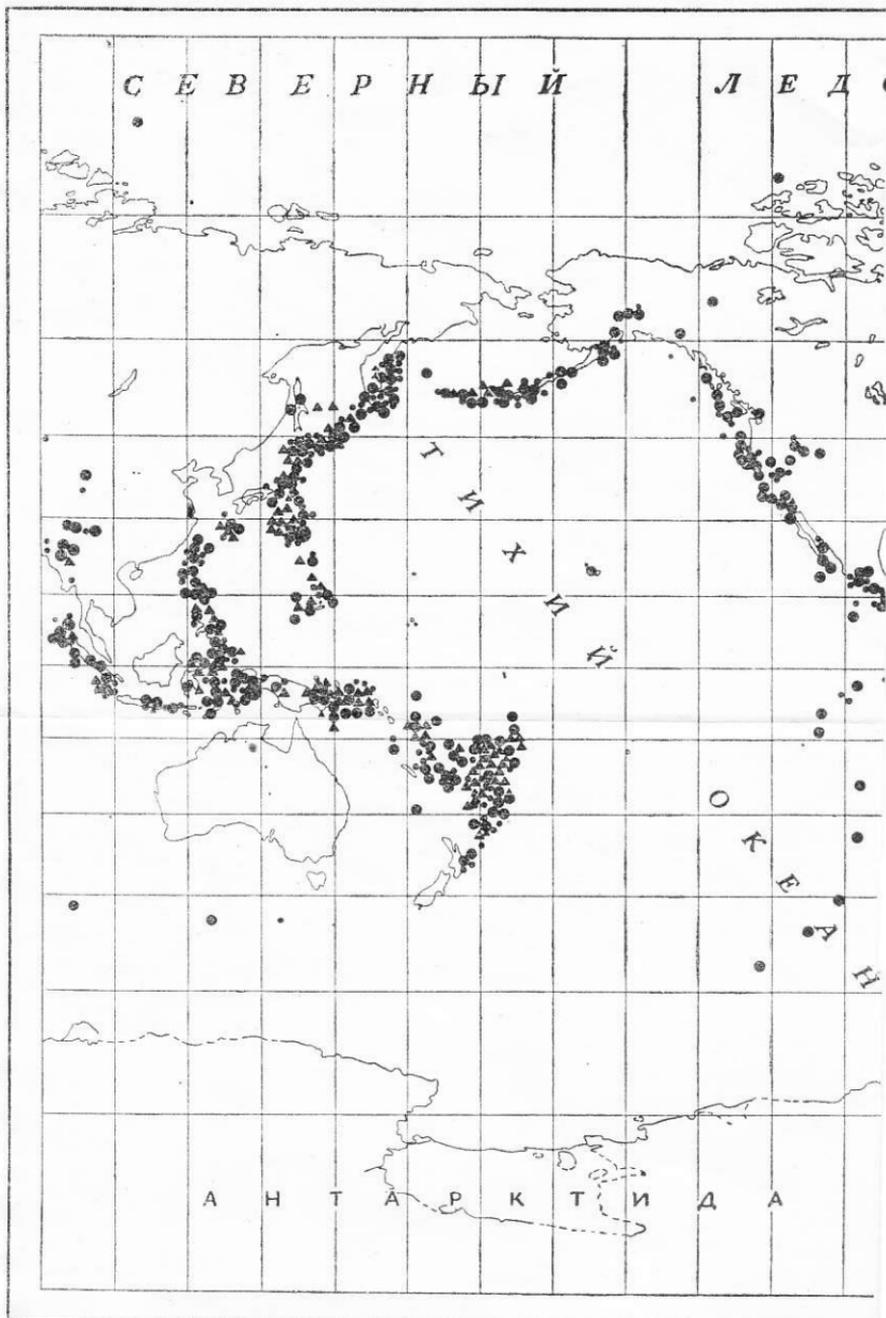
Горы, скрытые от взоров

Длинная цепь гор, составляющих хребет как раз посередине Атлантики, дала обильный материал для множества самых различных легенд о древнем континенте — Атлантиде. По преданиям, этот континент существовал еще задолго до исторических времен, а затем внезапно опустился в океан. Корабли многих стран проводили тщательное исследование хребта. (Один из них — исследовательское судно Океанографического института Вудс-Хоул, шт. Массачусетс, — гордо носит имя «Атлантида».)

Вся горная цепь, за исключением нескольких самых крупных возвышенностей, находится под водой. Над водой расположены только Исландия и Азорские острова в Северной Атлантике, а далеко на юге — острова Вознесения и Св. Елены. Южнее Африки и Австралии этот



м береговой и геодезической службы на протяжении 1956 года.
 ой сейсмической активности. Эпицентры нанесены по данным сейсмических станций
 других стран.



Районы землетрясений, зарегистрированных Управлени
 Даже по расположению эпицентров лишь за один год видны зоны интенсивн
 США и

хребет связан с другими хребтами в Индийском и Тихом океанах. Все вместе они образуют самую длинную горную систему на Земле.

Чуть поодаль от гребня хребта проходит впадина, ширина которой местами достигает 25—30 километров, а глубина — более 2 километров. Этот особый провал до сих пор не изучен до конца, несмотря на тысячи промеров эхолотом, сделанных океанологами. Возможно, здесь мы имеем дело с трещиной или же участок земной коры опустился по разломам. Так или иначе этот провал следует рассматривать как ослабленную зону; другими словами, эта зона и есть источник землетрясений.

Даже в пределах сейсмически активных поясов имеется много мест, где еще ни разу не были зарегистрированы землетрясения. По-видимому, число таких районов велико, так как половина всех землетрясений за последнее время происходила там, где прежде они не были известны.

Существуют ли спокойные районы?

За пределами сейсмически активных поясов находятся огромные территории — так называемые стабильные районы. Даже если они расположены почти в непосредственной близости от поясов, землетрясения в них все же крайне редки. Примером может служить акваторий Тихого океана — самый обширный район, почти полностью окруженный тихоокеанской сейсмически активной зоной. Эту особенность, по всей вероятности, следует рассматривать как противоречащую теории Тёрнера; если следовать его теории, то непрочной и ненадежной должна быть вся площадь Тихого океана. Другие стабильные районы находятся в центральных частях континентов, в таких странах, как Канада, Бразилия, Центральная Африка и Австралия. Население этих стран не припомнит землетрясений и полагает, что на их территории они никогда не произойдут. Опасное заблуждение!

Землетрясение возможно почти в любом районе земного шара, и если ждать очень долго, оно обязательно произойдет. В 1663 году страшный толчок всколыхнул Канаду и штаты Новой Англии. В 1755 году пострадал Бостон. Нью-йоркцы могут чувствовать себя в сравнительной безопасности, но и то в 1929 году они были

напуганы колебаниями почвы — последствием одного из сильнейших в истории землетрясения, которое произошло в районе Ньюфаундленда в 1300 километрах от города. Эпицентр его находился вблизи рыболовных промыслов Гранд-Бэнкс. В результате землетрясения было выведено из строя 12 трансатлантических подводных кабелей — ущерб исчислялся миллионами долларов, — а на побережье обрушились волны высотой до 15 метров.

Землетрясения отмечались даже на Британских островах и в Австралии. В Соединенных Штатах Америки было по меньшей мере два сильных землетрясения; оба потрясли мир своей внезапностью. Одно из них произошло 31 августа 1886 года в Чарльстоне, шт. Южная Каролина. Это единственное сильное сотрясение, зарегистрированное на юго-востоке США. Кто бы мог подумать, что другое крупнейшее землетрясение произойдет в спокойной долине Миссисипи около Нью-Мадрида, вдали от гор или моря?!

Как глубоко зарождаются землетрясения в недрах Земли?

Большинство людей никогда не задается вопросом, на какой глубине происходят землетрясения. Для ученых же этот вопрос очень важен. Важно это также и в практическом отношении. Очень глубокие землетрясения, очевидно, должны сопровождаться меньшими разрушениями, чем поверхностные. Объясняется это тем, что они более удалены от поверхности, хотя воздействие их распространяется на большую площадь. Ученых особенно интересуют довольно редкие «глубокофокусные» землетрясения, происходящие на глубинах до 1000 километров. Эта глубина неизмеримо больше любой шахты или скважины. Изучение таких землетрясений может пролить свет на состояние пород в таинственных глубинах Земли, куда человек, по-видимому, никогда не проникнет.

Глубокофокусные землетрясения свидетельствуют о том, что зоны разломов проникают в мантию Земли намного ниже уровня земной коры, в пределах которой они очерчивают границы районов с интенсивным развитием горообразующих процессов. Они редко выходят за пределы горных систем Тихого океана, где возвышаются

Анды и другие горные цепи. Самый глубокий разлом установлен в районе островов Тонга — полузатопленных гор, поднимающихся со дна в юго-западной части Тихого океана.

Сейсмичность — мера опасности

После обзора зон наиболее частых землетрясений следует выяснить, где именно в их пределах чаще всего происходят толчки и с какой периодичностью. Это важно в практическом отношении, ибо людям необходимо знать, подвергаются ли они риску. Из-за опасного соседства с разломом Сан-Андреас, пересекающим вход в бухту Сан-Франциско, было даже задержано строительство самого длинного в мире моста через пролив Золотые Ворота.

Таковыми мерами предосторожности при строительстве мостов, плотин или других крупных сооружений люди стремятся оградить себя от опасных последствий возможных землетрясений. Особенно в этом заинтересованы страховые компании, которые гарантируют возмещение убытков от землетрясений в таких районах, как Калифорния. Поэтому для определения «сейсмичности» того или иного района Земли используются все, в том числе и исторические, сведения о землетрясениях.

Словом «сейсмичность» условились называть подверженность землетрясениям какого-либо района мира. Это своеобразная оценка опасности. Высокая сейсмичность характерна для Калабрии, небольшого района на юге Италии, где за три столетия отмечалось двадцать разрушительных землетрясений. Высокая сейсмичность наблюдалась и в районе города Консепсьон (Чили), который не раз превращался в руины от толчков, зарождавшихся в близлежащих Андах. Сейсмичность Японии была установлена после того, как японский ученый Хатаи определил, что в год в стране отмечается 4500—12 000 толчков.

Бено Гутенберг и Чарльз Рихтер (оба из Калифорнийского технологического института) опубликовали фундаментальную монографию «Сейсмичность Земли». В ней приведено наиболее полное по сравнению со всеми ранее опубликованными трудами описание зон с повышенной сейсмичностью. Данные о наиболее сильных за всю современную историю землетрясениях расположены в строгом порядке по районам и по силе. Особенно удачным

следует признать сравнительное описание различных по сейсмичности районов мира. Но хотя книга «Сейсмичность Земли» имеет несомненную ценность для жителей районов, соседствующих с сейсмически активными зонами, ответа на вопрос, где и когда следует ожидать землетрясения, она не дает.

Землетрясения происходят не изолированно

По опыту известно, что сильные землетрясения вызываются не одним толчком, а серией быстро следующих один за другим ударов. Иногда сменяющие друг друга удары могут быть почти одинаковой силы. В большинстве случаев сильные близповерхностные землетрясения имеют именно такую последовательность. В этом и заключается причина огромных разрушений в населенных районах: завершающие удары превращают в руины все уцелевшие сооружения, уже расшатанные предыдущими толчками. Но какой толк от того, что мы знаем наиболее вероятную причину катастрофических последствий землетрясений, если она позволяет предсказать лишь конец начавшегося землетрясения?!

Предвестниками сильных землетрясений часто служат серии все возрастающих по силе предварительных ударов—так называемых предварительных толчков, *форшоков*. Крупные землетрясения, такие, как в Нью-Мадриде, обычно завершаются затухающими по силе толчками; их называют последующими толчками — *афтершоками*. Казалось бы, форшоки, начинающиеся за несколько дней, а иногда даже за несколько лет до главного удара, могут служить надежным предупреждением об опасности. Но, к сожалению, они мало пригодны для этой цели. Какой-либо определенной последовательности в их проявлении, которая позволяла бы судить о приближении главного удара, не установлено. Вспомним, например, сильное землетрясение в районе Канто в Японии, которому в течение ряда лет предшествовали все возрастающие по силе форшоки. В 1922 году, после особенно сильного удара, профессор Токийского университета Омори заявил, что самое худшее уже позади. По его мнению, с этого момента сила ударов должна была убывать. И что же? Год спустя разразилась страшная катастрофа.

Основная трудность заключается в том, что никто не может с уверенностью сказать, являются ли толчки все еще продолжающимися форшоками или они уже закончились. Зачастую колебания так и затухают, не вызывая никаких серьезных последствий, и никто не в состоянии определить, были ли это форшоки или афтершоки. Более того, глубокофокусные землетрясения часто вообще не сопровождаются ни форшоками, ни афтершоками.

Интервалы между толчками

Землетрясениям присуща характерная особенность, которую, возможно, следует отнести к законам природы и которая имеет огромную научную ценность. Гуго Бениофф (Калифорнийский технологический институт) установил, что средняя суммарная энергия землетрясений на всем земном шаре сохраняется на одном и том же уровне. Поэтому вслед за периодом наиболее сильной активности землетрясений может последовать год-другой сравнительного затишья. Это весьма интересный вывод о сейсмичности Земли в целом, однако никаких сведений относительно периодичности отдельных землетрясений он не дает. Более обнадеживающим было открытие, что наиболее сильные удары следуют через более или менее одинаковые интервалы времени. Однако и эта периодичность оказалась не настолько правильной, чтобы служить надежным предупреждением о грозящей беде. Известный сейсмолог Байерли долгое время занимался анализом активности сотрясений по уже известному нам разлому Сан-Андреас вблизи Сан-Франциско. Местные жители твердо убеждены, что землетрясения в этом районе повторяются через определенные промежутки времени; чаще всего толчки следуют друг за другом с разрывом почти в 50 лет. Но, по мнению Байерли, установить интервал повторяемости или даже определить, какой из толчков следует считать главным, невозможно. По его расчетам, а также по данным других исследователей, интервалы между отдельными ударами составляют 40—70 лет. Попробуйте-ка предугадать что-нибудь при такой точности! И Байерли задает вполне резонный вопрос: «Как же могут геологи понять поведение такой прихотливой и непостоянной планеты, как наша Земля?»

Итак, мы узнали, что на основании исторических сведений о землетрясениях люди в состоянии выделить те районы, где они происходили в прошлом и могут, по всей вероятности, произойти в будущем. Более того, в настоящее время мы даже в состоянии приблизительно предугадать их периодичность в сейсмически активных зонах. Предупреждением о назревающей катастрофе могут служить форшоки, но определенных указаний о времени возможного землетрясения они, к сожалению, не дают. Человек еще бессилён раскрыть многие секреты природы.

Мозаика разломов

Разломы на поверхности Земли привлекают внимание ученых своей доступностью для исследований. Специалисты могут установить, что происходило с разломами после того, как они образовались при землетрясении. Эта задача напоминает ту, с которой приходится сталкиваться экспертам при разборе причин аварий самолета — ведь иногда им удается ее найти! Поэтому ученые проявляют живейший интерес к изучению землетрясений, несмотря на то, что здесь их нередко ожидают большие трудности.

Глубокофокусные землетрясения вообще не сопровождаются разломами на поверхности. Преобладающее большинство разломов навечно скрыто от глаз исследователей; множество их, древних и только что появившихся, погребено под перекрывающими толщами осадочных пород. Разломы, которые мы видим на поверхности, зачастую не имеют никакого отношения к известным нам землетрясениям. Большинство колебаний в Калифорнии, по всей вероятности, сопряжено с движениями в горной системе Береговых хребтов, но существуют целые системы разломов, по соседству с которыми ни разу не были зарегистрированы землетрясения. Многие издавна известные разломы не проявляют никаких признаков жизни. По-видимому, большая часть их давно утратила активность, но полной уверенности в этом нет. Единственное доказательство активности разломов — это свидетельства очевидцев о наблюдавшихся ими смещениях; что же касается доказательств полной потери активности, то их вообще не существует.

*Что могут дать измерения едва приметных
деформаций земной коры*

Возможно, что наиболее перспективным с точки зрения предсказания землетрясений окажется изучение явлений, происходящих по соседству с активными зонами. Как уже упоминалось, такого рода исследования проводились на разломе Сан-Андреас. Этот разлом известен с давних пор, и его история хорошо изучена.

Измерение расстояний между контрольными вышками и определение их расположения по отношению друг к другу были выполнены в этом районе инженерами еще до 1906 года. После трагических событий в Сан-Франциско для проверки возникших перемещений измерения были повторены. Из-за небольшого числа контрольных точек результаты оказались недостаточно определенными: можно было лишь говорить о том, что расстояния между точками на противоположных сторонах разлома изменились. По западной стороне разлома они сместились к северу на расстояние до 6 метров. Эти результаты совпадали со смещениями частей крупнейшей дороги и изгородей; видимые перемещения по ним были примерно такого же порядка.

Чтобы убедиться, продолжается смещение или нет, топографы несколько раз повторяли измерения. И им удалось обнаружить, что противоположные стороны действительно продолжают смещаться по разлому со скоростью примерно 5 сантиметров в год.

Вероятно, расстояние 6 метров было критическим, после чего последовал разрыв пород. Ежегодные смещения на 5 сантиметров дают за столетие величину, почти совпадающую с вычисленной в результате измерений. Не здесь ли кроется ответ? Не повторится ли катастрофа по разлому Сан-Андреас к 2006 году? Такая возможность не исключена, но если исходить из накопленных историей данных об активности разлома, то этого не произойдет. По данным Байерли, сотрясения по разлому не обладают какой-либо определенной периодичностью; тем не менее если она и существует, то все равно интервалы между ударами гораздо меньше ста лет.

Байерли обратил внимание еще на одну особенность. Поведение разлома Сан-Андреас отличается от обычного, свойственного другим. В 1857 году был разрушен

форт Техон по соседству с Лос-Анжелосом. В 1906 году нарушение произошло в сотнях километров к северу. Можно гадать о причинах образования разлома между этими двумя районами. Он мог возникнуть и в результате сильного сжатия, но как это определить? Возможно, со временем нам удастся раскрыть эту тайну, так как топографы продолжают свои исследования. А кроме того, предстоит еще немало землетрясений...

Наклоны земной поверхности

Другим признаком напряжения земной коры служат наклоны почвы. Наклоны поверхности Земли тоже можно измерить, хотя обычно они столь незначительны, что их очень трудно обнаружить. Для точных измерений необходимы чрезвычайно чувствительные приборы — наклонометры. Такими приборами пользовались как в США, так и в Японии. Американским ученым не удалось обнаружить ничего интересного; они лишь заметили, что при резких переменах погоды и во время дождя происходят слабые наклоны почвы.

Наблюдения японских ученых оказались более успешными. Они замерыли наклоны вблизи разломов, проявлявших свою активность частыми землетрясениями. Сопоставив полученные данные с периодичностью толчков, японские сейсмологи поразительно точно предсказали начало новых колебаний. По-видимому, этот метод найдет применение в некоторых районах.

Широко распространено мнение, что чувствительные акустические приборы, помещенные в глубокие скважины, могут «подслушать» предупреждающие шумы в породах. Следует оговориться, что серьезной проверки этого предположения не проводилось. Но даже если оно и окажется верным, то для размещения во всех районах земного шара, где возможны землетрясения, потребуется колоссальное число таких приборов. Многие сейсмологи предлагают пробурить несколько скважин и разместить в них приборы для наблюдения за поведением какого-нибудь крупного разлома типа Сан-Андреас. С нашей точки зрения, это нецелесообразно: осуществление такого проекта связано с огромными затратами, которые вряд ли окупятся.

Что способствует возникновению землетрясений

Потерпев неудачу в поисках законов развития землетрясений, некоторые исследователи пытаются теперь найти такие причины землетрясений, по которым можно было бы предсказать их заранее. Предполагаемые причины в одних случаях могут быть близки к истине, в других — надуманы; их ценность во многом зависит от мировоззрения и объективности самого исследователя.

По всей вероятности, наиболее общее стремление всех ученых — это желание найти те природные силы, действие которых подобно спусковому механизму. Считается, что, когда землетрясение «созрело», достаточно небольшого усилия, чтобы привести в движение массы напряженных горных пород. Это представление кажется настолько правдоподобным, что совершенно непонятно, почему до этого не додумались ранее.

Всем нам хорошо известны силы тяготения и та важная роль, какую они играют в жизни нашей планеты. Притяжение Солнца и Луны вызывает приливы и отливы в океанах — огромные водяные горбы, которые образуются под действием сил притяжения и перемещаются вокруг земного шара по мере его вращения. В некоторых бухтах высота приливной волны достигает 15 метров. Силы, способные вызвать такие волны, должны также воздействовать и на твердую землю. Это и в самом деле так: несмотря на твердость горных пород, в них заметны приливы и отливы. В районах Нью-Йорка и Вашингтона почва дважды в течение суток поднимается и опускается в пределах 15—45 сантиметров. Силы, которые в состоянии всколыхнуть землю, вполне могут служить «спусковым механизмом» землетрясений.

Эта идея, вероятно, показалась заманчивой итальянскому ученому Пигнатаро, который провел тщательное исследование афтершоков землетрясения 1791 года в Калабрии, на юге Италии. Установив интересную зависимость между периодичностью афтершоков и положением Луны, он не замедлил прийти к выводу, что афтершоки вызываются Луной! Позднее Перрей, основываясь на данных Пигнатаро, вывел закон, согласно которому максимальное количество афтершоков совпадает с положением Луны, когда она находится над активной зоной или под ней. Правда, каким образом действуют вызывающие

афтершоки силы, для Перрея значения не имело. Более того, он утверждал, что частота афтершоков меняется в зависимости от основного периода лунного обращения по небосводу, то есть через каждые 29,6 дня.

Закон Перрея представлял бы большой интерес и имел важное значение, будь он верен. С целью его проверки проводились обширные исследования. Так, американский ученый Стетсон отметил усиление активности землетрясений при определенных положениях Луны. Омори установил, что почти все 65 землетрясений в Японии, которые произошли на суше, по времени совпали с периодом подъема или спада приливных волн, длящимся не более часа, что, несомненно, связано с положением Луны. К сожалению, дальнейшие многочисленные исследования не подтвердили этой гипотезы даже в первом приближении. Как видно, «закон» Перрея не удовлетворяет выведенному Байерли критерию «полезности».

Приливы и вызываемая ими нагрузка в прибрежных зонах

Если силы тяготения не могут быть признаны непосредственной причиной, вызывающей начало землетрясений, то не являются ли они косвенной причиной? Колоссальная нагрузка от веса морской воды на прибрежные зоны меняется в моменты подъема или спада приливной волны. Сейсмологи установили, что в начале прилива наблюдается небольшой наклон побережья в сторону моря. Новозеландский исследователь Хейс обнаружил, что во время землетрясения 1950 года афтершоки совпали с периодами спада приливной волны и падением атмосферного давления ниже нормы. Частота мелких колебаний в Гималаях возрастает во время половодья рек — другой пример последствий перегрузки земной коры. Однако ни одна из этих теорий не получила достаточных подтверждений к вящему удовольствию ученых.

Если притяжение Солнца и Луны не оказывает заметного влияния на периодичность землетрясений, тем более трудно связывать их с более слабым воздействием других удаленных от Земли планет. И по сей час встречаются неучи, громогласно заявляющие о якобы сделанном ими грандиозном открытии. Но идея эта не нова. Еще в 1359 году некий Конрад из Мегенбурга без-

успешно пытался объяснить землетрясения расположением планет на небе. Бесчисленные попытки делались позднее и другими псевдоучеными. Расположение планет на небосводе почему-то издавна привлекало внимание людей и побуждало их заниматься предсказаниями. Возможно, это объясняется влиянием многочисленных астрологов, в своих предсказаниях «спекулирующих» положением и движением планет.

Атмосфера, землетрясения, поведение животных и другие явления

Силы тяготения различных тел — не единственные природные силы, способные спровоцировать землетрясения. По сравнению с ними меняющееся в зависимости от погоды атмосферное давление может показаться слишком незначительной причиной. Но оказываемое им влияние на больших площадях может быть достаточно заметным и привести к серьезным последствиям. По мнению некоторых исследователей, между частотой землетрясений и величиной атмосферного давления имеется известная зависимость: число толчков якобы увеличивается с повышением или падением давления. На наш взгляд, это мнение ошибочно¹.

Другим предвестником землетрясений могут быть колебания почв, источником которых являются удаленные сотрясения². Нередко отмечалось отчетливое совпадение по времени землетрясений, удаленных на значительное расстояние. Так, в 1755 году толчок в северной части Африки последовал через минуту после сильнейшего лиссабонского землетрясения. Однако более убедительных доказательств связи этих землетрясений нет.

Существуют и другие признаки, иногда вызывающие удивление людей. Довольно часто, как раз перед сильными землетрясениями, они отмечали необычайное беспокойство и, казалось бы, ничем не оправданное волнение животных. Эту примету можно было бы использовать

¹ Не совсем так. Вариации давления могут быть силами «спускового механизма», о которых автор говорил выше. — *Прим. ред.*

² Такая связь маловероятна, но региональная последовательность землетрясений во времени наблюдалась неоднократно. — *Прим. ред.*

для предупреждения грядущих землетрясений, если бы остающегося до землетрясения времени не было так мало — за столь короткий срок трудно принять необходимые предохранительные меры. Чувствительность животных к землетрясениям, по-видимому, объясняется их особой реакцией на незначительную вибрацию почвы, которую люди не в состоянии улавливать. Но беспокойство животных может быть также вызвано и множеством других не замечаемых человеком причин (например, колебаниями воздуха чрезвычайно высокой частоты).

К причинам, вызывающим землетрясения, можно в конце концов причислить множество искусственных и природных явлений, как-то: взрывы атомных бомб, резкие перемены погоды, грозы и даже все те загадочные явления, о которых мы говорили в гл. II. Однако ни одну из них нельзя признать истинной. Нам остается только ждать открытия новых закономерностей, прежде чем можно будет предсказывать землетрясения.

Как остановить землетрясение?

Эта проблема не является серьезным препятствием для тех, кто заявляет, что они в состоянии сделать это. Такие люди — либо простаки, обманывающие самих себя, либо отъявленные мошенники. К сожалению, разоблачить их не легко. Абсурдность тех или иных взглядов доказать почти так же трудно, как и обосновать действительные причины землетрясений. Ежедневно на земном шаре происходят тысячи землетрясений, большей частью очень слабых. Наивные люди и шарлатаны имеют возможность найти подтверждение любому представлению и предсказанию. Они никогда не упустят случай продемонстрировать свою «прозорливость», но все их предсказания вызывают лишь раздражение. Ученые предпочитают делать свои выводы на основе логического анализа твердо установленных фактов.

Известный сейсмолог священник Джозеф Линч из нью-йоркского университета Фордхэм выражал сильное недовольство не только теми, кто надоедал ему своими идеями о предсказании землетрясений, но и теми, кто грозил администрации университета разгромить обсерваторию Линча, если он не перестанет «вызывать» землетрясения.

Новозеландский сейсмолог Эйби утверждал, что практиков интересует лишь правильный ответ на вопрос: «Где произойдет следующее землетрясение?» Пока же известно только, что не следует возводить дома непосредственно на разломах.

Это в своей основе верное утверждение для меня потеряло свою неоспоримость, после того как я узнал о поступке Перри Байерли. Зная лучше, чем кто-либо другой, о возможных эпицентрах землетрясений в окрестностях Сан-Франциско, он, невзирая ни на что, поселился в доме по соседству со спортплощадкой университета в Беркли, где преподавал. Выбранный им дом находился всего в нескольких метрах от разлома Хейуорд — второго по опасности разлома в районе, заслуженно пользующемся дурной славой. Он был виден прямо из его окон — сразу же за узкой дорожкой. Ну, можно ли после этого называть Байерли практичным человеком?!

Правда, возможно, в своем выборе Байерли руководствовался тем соображением, что в районе, подверженном землетрясениям, в равной мере опасно любое место?

Действительно, предсказывать землетрясения мы еще не умеем. Хек был прав: основная особенность землетрясений — их неожиданность. И если мы и узнали кое-какие секреты природы, то этого все равно еще не достаточно для предсказания землетрясений.

V. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Причина их скрыта, но зато наши несчастья очевидны.

Овидий

Однажды Бено Гутенберг и его старый друг Альберт Эйнштейн прогуливались по спортивной площадке Калифорнийского технологического института, обсуждая серьезные проблемы землетрясений. Во время этой прогулки — это было 10 марта 1933 года — произошло землетрясение. Разрушительный удар потряс Лонг-Бич. Возможно, из-за того, что они двигались, а не стояли на месте, а может быть, и потому, что оба ученых были очень увлечены разговором, никто из них даже не почувствовал колебаний. Это удивительно, так как землетрясение было сильным, и почти все жители Пасадены ощутили его. Ни Эйнштейну, ни Гутенбергу не довелось еще испытать землетрясений, хотя Гутенберг, как известно, мечтал об этом. *

Позднее этот талантливый ученый, узнав об испытании первой атомной бомбы на атолле Бикини в Тихом океане, вспомнил, что в 1945 году в Англии приборы зарегистрировали взрыв старых боеприпасов, который произошел в Германии, и побежал в лабораторию. Там он обнаружил на записях чувствительных приборов небольшие отклонения. Это значило, что колебания почвы от взрыва бомбы передались на расстояние почти 10 тысяч километров через Тихий океан и достигли Пасадены. Гутенберг был первым, кто сообщил об этом факте.

Чем вызываются колебания почвы

Даже небольшие взрывы вызывают сотрясения почвы. Колебания при взрывах в карьерах и на строительных площадках неоднократно исследовались сейсмологами. При сооружении величественной высотной гидроэлектро-

станции Росс-Дам в Каскадных горах, которая дает энергию Сиэтлу, накопленные данные весьма пригодились строителям. Во время строительства приходилось пробивать взрывами туннели через скалистые склоны ущелья. Сейсмологи записали и исследовали влияние этих колебаний почвы при взрывах на свежий бетон плотины.

Аналогичные исследования были проведены во время строительства Панамского канала, когда понадобилось установить, выдержат ли породы основания новую нагрузку. Строителям требовалось определить влияние на породы движения ворот шлюзов и вибрации механизмов. Фундаменты чувствительных атомных энергетических установок и контрольных приборов на стартовых площадках ракет также проверяются на сейсмическую устойчивость для предохранения от неприятных последствий сотрясений во время землетрясений или же при запуске ракет.

Колебания почвы вызываются также природными явлениями. Страшный взрыв вулкана Кракатау в 1887 году в проливе Сунда среди островов Вест-Индии — один из сильнейших когда-либо случавшихся на Земле естественных взрывов — вызвал сотрясение земной коры. Оно было сравнительно слабым, так как оказалось, что большая часть энергии взрыва была направлена вверх, в воздух. Взрывом было выброшено свыше 20 тысяч кубометров пород в виде пыли. Звук взрыва был слышен на тысячи километров вокруг.

В 1908 году многие жители Сибири с трепетом и страхом следили за светящимся объектом, падавшим с неба и со страшным грохотом разорвавшимся где-то на высоте примерно 5 километров. Воздушной волной на много километров был повален лес, а затем она обошла вокруг земного шара. Колебания почвы были зарегистрированы даже в Иркутске — за тысячи километров от места взрыва. Долгое время это небесное тело считалось метеоритом, но не так давно советские ученые установили, что этот пришелец из космоса был кометой¹.

Различные механизмы, автомашины, поезда и множество других причин вызывают колебание почвы. За приме-

¹ Имеется в виду падение так называемого Тунгусского метеорита (1908) — явление, которое исследуется до сих пор. — *Прим. ред.*

ром не надо далеко ходить: стоит по улице проехать тяжелому грузовику, как в оконных рамах зданий дребезжат стекла. Вспоминается, как один сейсмолог, демонстрируя посетителям приборы обсерватории, предупредил, что некоторые пики на сейсмограммах вызваны сотрясениями почвы от поезда, ежедневно проходившего точно по расписанию на расстоянии примерно 6 километров от обсерватории.

Причиной дрожания и сотрясения почвы может послужить сильный ветер, ударяющий в гору, и даже перемещение воздушных масс. Поэтому сейсмологи для своих приборов и для бесперебойной работы подыскивают такие места, где они могут быть уверены, что никакие посторонние сотрясения, кроме землетрясений, не нарушат их покой. Наилучшими местами для строительства сейсмостанций являются коренные породы, но их не так-то легко найти. Как показал опыт Антарктиды, совсем неплохими для расположения сейсмостанций оказались мощные ледяные покровы в несколько километров толщиной. Ведь лед также можно рассматривать как горную породу.

Расстояние, на которое распространяются колебания, во многом определяется передающей средой. Оглушивший нас поблизости гром с трудом улавливается на расстоянии в несколько километров. Взрывы и другие сотрясения почвы ощущаются на гораздо большем удалении. Благодаря чувствительным приборам мы теперь знаем, что сильные землетрясения отмечаются по всему земному шару.

Упругие колебания

Землетрясения есть не что иное, как колебания, которые могут происходить в любой упругой среде. Плотные, твердые породы Земли обладают упругими свойствами, такими же, как металл колокола, или струны музыкальных инструментов, или же легкие тренировочные доски в плавательных бассейнах. Все эти предметы обладают упругими свойствами, и при ударе, неожиданной встряске или броске начинают вибрировать; постепенно вибрации затухают. Аналогичная картина наблюдается и в горных породах. Резкие нарушения вызывают упругие колебания пород.

Колебания в породах распространяются в виде волн, подобно ряби на поверхности воды при падении камня. Упругие колебания могут иногда распространяться и по поверхности земли, но они сильно отличаются от волн на поверхности воды. Волны, бегущие одна за другой, в состоянии пройти сквозь всю Землю.

Сотрясения пород представляют собой упругие колебания. Это впервые установил английский ученый Джон Митчелл, профессор Кембриджского университета, занимавшийся изучением последствий лиссабонского землетрясения. В те времена это была совершенно новая теория; теперь же с ее помощью ученым удается объяснить многие явления.

Быстрые и медленные волны

Ирландский инженер Роберт Мале, долгие годы изучавший землетрясение, которое произошло в итальянской провинции Калабрии в 1857 году, заинтересовался скоростью распространения волн в Земле. Исследования, проведенные им, положили начало инструментальной сейсмологии. Пытаясь вызвать искусственные волны в почве, Мале взрывал пороховые заряды и фиксировал время пробега волн по ряби в сосудах с ртутью. Впоследствии ученые получили много новых данных о скорости распространения волн в земной коре. Установлено, что скорость эта меняется в различных участках Земли, но в целом ее величина достаточно хорошо известна.

В отличие от вибраций гитарной струны или колокола сотрясения земли вызывают появление серий очень сложных волн. Некоторые из них имеют небольшую длину и столь высокую частоту, что люди обычно их не ощущают. Иногда эти волны, появляясь раньше интенсивных колебаний, вызывают тревогу среди животных в зоопарках, в то время как люди ничего не чувствуют. Это объясняется тем, что некоторые животные и рыбы обладают повышенным осязанием и слухом. Японцам, например, известно, что морская рыба, внешне очень напоминающая кота, становится беспокойной уже за несколько часов до землетрясения. Вероятно, это вызывается очень слабыми предварительными ударами — форшоками.

Вполне возможно, что некоторые высокочастотные колебания имеют как раз ту частоту, при которой поро-

ды на глубине начинают издавать звуки, иногда слышимые во время землетрясений. Но эти звуки могут иметь и другое происхождение: они могут быть вызваны трением или сдавливанием горных пород при прохождении волн. Иногда они бывают настолько сильными, что напоминают выстрелы или отдаленные раскаты. Многим очевидцам они кажутся похожими на грохотание повозки по булыжной мостовой. Во время землетрясения 1899 года в Ассаме раскаты из глубин земли раздались за две секунды до толчков.

Известны также волны большей длины и низкой частоты — это самые страшные волны. Они-то и разрушают сооружения и меняют облик местности. Их сила настолько велика, что вызывает оползание грунта и извержение вулканов.

По распространению волн в земной коре ученые определяют, что где-то произошло землетрясение. Не удивительно, что изучение их составляет основное занятие сейсмологов. Современная наука располагает обширными сведениями о волнах и их сложной природе. И хотя в задачу нашей книги не входит изложение всех известных нам сведений, о наиболее важных из них мы попытаемся рассказать.

Самые быстрые волны, первыми прибывающие в любой район земного шара, представляют собой серию продольных волн сжатия — разрежения; эти колебания подобны звуковым, но имеют больший период. Сейсмологи называют их *P*-волнами. При прохождении первичных волн мимо наблюдателя сжатие и разрежение пород происходит с периодичностью в 1—2 секунды. При этом отмечается колебательное перемещение частиц пород вдоль линии, направленной к эпицентру землетрясения. Фронт распространения волн этого типа, вероятно, представляет собой сферу, расширяющуюся в глубинах земли во все стороны от очага землетрясения со средней скоростью примерно 8 километров в секунду.

P-волны проникают сквозь любую среду, в том числе сквозь лед, воду и даже воздух. Они распространяются по всей Земле, затухая лишь тогда, когда исчерпывается их энергия. При встрече со слоями пород различной упругости они могут отражаться, подобно свету от зеркала, или же преломляться, подобно лучам света в линзе. Изучение распространения этих волн позволило ученым пе-

нять внутреннее строение Земли. Только благодаря отражению волн удалось обнаружить корни гор, о которых мы упоминали выше. Отражаясь от них, волны образуют «мертвое пространство», или «волновые тени».

Один из слоев Земли, который отражает волны обратно к поверхности,—это уже известная нам граница Мохоровичича, или «Мохо». Другая граница находится между мантией Земли и ее ядром где-то на полпути к центру. Величайшее открытие датчанки Инге Леман — обнаружение границы между центральной и внешней оболочками ядра — позволило не только заметить слабые отражения от этой неясной границы, но и понять ее природу.

После *P*-волн поступают вторичные волны, распространяющиеся с меньшей скоростью, примерно 5 километров в секунду. Это поперечные, или сдвиговые, волны, называемые *S*-волнами. При движении этих волн частицы пород перемещаются перпендикулярно линии распространения подобно волнам, возникающим при колебании туго натянутой веревки. Обычно *S*-волны приходят после *P*-волн с опозданием на несколько секунд, так как их скорость меньше. Они могут следовать путем *P*-волн и также отражаться от слоев с различной упругостью; единственное их отличие состоит в том, что они не проходят через жидкость. Это объясняется тем, что распространение *S*-волн сопровождается изменением формы среды, через которую они проходят, а такое изменение возможно лишь в твердых средах. Жидкость же не сопротивляется изменению формы, так как не обладает твердостью.

S-волны не проходят через ядро Земли, поэтому полагают, что ядро жидкое. Во всяком случае, вещество ядра ведет себя как жидкость. Правда, мы не можем с уверенностью утверждать, что там находится жидкость; нам трудно даже представить, в каком состоянии должны находиться породы в этой зоне высоких температур и колоссальных давлений.

Существуют и другие виды волн. Так называемые *L*-волны намного длиннее *P*- и *S*-волн. В течение одной минуты они совершают от силы три-четыре колебания. *L*-волны состоят из волн двух типов, названных по имени их первооткрывателей. Волны Лява перемещают частицы пород в поперечном направлении, подобно *S*-вол-

нам. Волны Релея — наиболее сложные из всех; частицы пород, имеющие, помимо вертикальных колебаний, еще и горизонтальную компоненту, описывают почти замкнутую кривую.

Очень важно помнить, что L -волны распространяются только вдоль поверхности Земли и с гораздо меньшей скоростью, чем все остальные. Они вызывают самые сильные колебания почвы и дают наибольшие пики на сейсмограммах. Иногда L -волны служат причиной наиболее сильных разрушений. В ряде случаев они распространяются по всей Земле и их можно зафиксировать на сейсмограммах даже через несколько дней после землетрясения.

Поскольку все эти различные волны расходятся от исходной точки по определенному пути и с определенной скоростью, можно попытаться выяснить причину их появления. Они пересекают внешние оболочки Земли и дают нам сведения о землетрясении. Что же можно извлечь из посланий, которые попадают к нам из глубин, недоступных для непосредственных исследований?

VI. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Слушай, читай, замечай, учись и
хорошенько усваивай все.

Из «Наставлений»

Как зафиксировать землетрясение без приборов

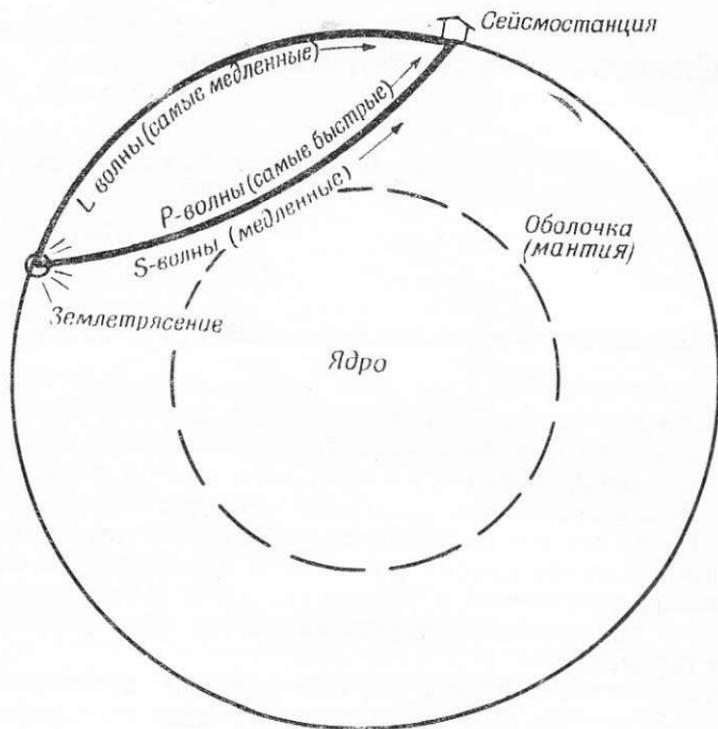
18 октября 1935 года двое путешественников, проезжавших неподалеку от города Хелина, шт. Монтана, были поражены при виде надвигавшейся на них по полю крупной ряби. Земля и в самом деле как бы покрылась волнами. Один из них испуганно крикнул: «Землетрясение! К нам мчатся земляные валы со скоростью не меньше восьмидесяти километров в час!» Вероятно, они были первыми, узнавшими о разрушительном землетрясении, которое несколькими секундами позже обрушилось на этот город.

Вспоминается другой случай, который произошел в Новой Зеландии. Два друга разговаривали по телефону. Вдруг один из них воскликнул: «Подо мной колыхается земля! Наверное, это землетрясение!» В тот момент его собеседник еще ничего не заметил, но затем тоже почувствовал сотрясение. После взаимных обменов мнениями первый из друзей решил, что толчок шел откуда-то сзади от того места, где он находился, по-видимому, где-то за местечком Чивиот.

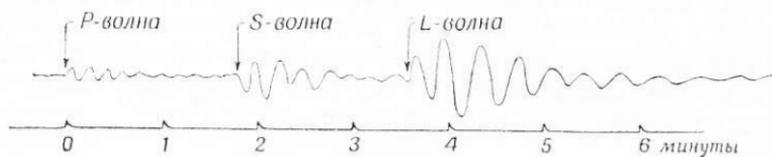
В обоих приведенных нами случаях люди воспользовались методами элементарной сейсмологии. Разумеется, эти методы никак нельзя назвать научными. Специалисты с помощью приборов могут установить различия между всплесками на сейсмограммах и определить, какой из них соответствует тому или иному типу волн, а также точное время их появления.

Определение места землетрясения — эпицентра

При анализе распространения волн очень важное значение имеет тот факт, что *P*- и *S*-волны обладают различ-



Определение очага землетрясения по распространению волн.



На сейсмической станции перо самописца или луч света, перемещаясь вдоль бумаги, ведут запись волн, как на приведенном рисунке.

Интервал времени между вступлением *P*- и *S*-волн служит для определения удаленности эпицентра землетрясения от станции.



Определение эпицентра землетрясения.

Телеграфные сообщения о расстояниях до эпицентра землетрясения с нескольких сейсмических станций позволяют установить место даже в том случае, если землетрясение произошло в океане.

ной скоростью и приходят на удаленные станции с разрывом во времени. Чем больше путь волн, тем продолжительнее интервал между ними. Общеизвестно, что расстояние до грозового фронта определяется по времени между вспышкой молнии и раскатом грома. Аналогично точное расстояние до места землетрясения определяют по разности во времени прихода *P*- и *S*-волн.

Именно с такой простой информацией сейсмологи обычно начинают поиски места, где произошло землетрясение. Расстояние им всегда хорошо известно. Гораздо труднее определить направление, хотя в первом приближении ответ на этот вопрос может дать простое сравнение записей приборов различных типов. В самом деле, длительный опыт иногда позволяет сейсмологам предположить местонахождение очага землетрясения лишь по

одному виду кривой колебаний на сейсмограммах. Несмотря на то что задача эта весьма сложна, землетрясения, которые происходят в одной и той же местности, нередко имеют много общего.

Для точного нанесения места землетрясения на карту обычно требуется подробная информация с трех и более сейсмических станций, отмеченных на глобусе или макете Земли. Поэтому сейсмологи всего мира самым тесным образом связаны между собой. Они постоянно готовы поделиться друг с другом необходимой информацией, используя для этой цели все виды связи, вплоть до телеграфа. В месте пересечения расстояний с трех станций может быть только одна точка, и она соответствует очагу землетрясения. У сейсмологов этот факт не вызывает ни малейшего сомнения даже в том случае, если толчок происходит посреди океанического дна.

Во время войны с Японией все линии связи были нарушены, и поэтому военные специалисты с нетерпением ожидали землетрясения в Японии, надеясь определить его именно таким методом. Кто-кто, а они-то знали, что катастрофа, вызванная сильным землетрясением, могла ослабить мощь японских вооруженных сил.

Приборы прежде всего!

Сейсмология как наука не может развиваться без информации, получаемой с помощью приборов. Многие землетрясения настолько слабы, что люди не в состоянии их почувствовать. А кроме того, во время землетрясений люди — слишком ненадежные свидетели даже в тех случаях, когда они оказываются непосредственными очевидцами. Не выдержав потрясения, многие из них заболевают или становятся чересчур возбудимыми. В этом нет ничего удивительного. Одно из самых распространенных заблуждений человека — это вера в прочность и неизблемость нашей Земли. Для людей, уверенных в этом, неожиданное, без каких-либо предварительных симптомов, колебание почвы под ногами является сильным потрясением. Для жителей многих районов земного шара эти события относятся к числу самых неожиданных и необычных. Поэтому-то большинство пострадавших так возбуждены, что не в состоянии полностью уяснить происходящее. И все-таки впечатление от увиденного настолько

глубокое, что сохраняется в памяти очевидцев на всю жизнь.

Но есть и исключения. Я никогда не забуду совместного пребывания в Доминиканской Республике с коллегой Гарольдом Маккомбом из Управления береговой и геодезической службы, который почти всю свою жизнь занимался конструированием сейсмических приборов. Выступая перед студентами университета, Маккомб рассказал о своей работе, пошутив под конец по поводу того, что ему лично ни разу в жизни не пришлось испытать землетрясения, хотя и хотелось бы. Через день мы встретились с несколькими профессорами; во время этой встречи произошел небольшой толчок, плавно покачнувший все вокруг. После минутного замешательства ученые с улыбкой посмотрели на Маккомба. Он был озадачен. Позднее, когда мы остались наедине, он спросил меня, что случилось. Неужели это было землетрясение? Он даже ничего не почувствовал!

Возможно, мне следовало бы рассказать ему об одном жителе Сизтла, который считал себя знатоком землетрясений. За долгие годы жизни на Филиппинах и Аляске ему не раз случалось быть их очевидцем. Он служил на исследовательском корабле и только что вернулся из долгого плавания по северным морям. Морские штормы приучили его к качкам и различного рода колебаниям. Поздно ночью встревоженная жена прервала его крепкий сон. Дом трещал. Предметы, висевшие на стене, качались. «Землетрясение!» — воскликнула испуганная женщина.

С тех пор она не раз припоминала, как он ответил ей спросонья: «Какое землетрясение? Я ничего не чувствую!»

Уверен, что она действительно этого не забудет. Ведь это случилось со мной. Но я никогда не решусь рассказать об этом случае бедняге Маккомбу.

Японцы, перенесшие множество землетрясений, вправду первыми посмеяться надо мной и Маккомбом. Как говорят, некоторые из них даже утверждают, будто способны почувствовать землетрясения заранее, подобно тому как есть люди, которые чувствуют перемену погоды по боли в суставах.

Все сказанное не означает, что опытный сейсмолог пренебрегает зрительными впечатлениями. Наоборот, на-

блюдения за последствиями землетрясений позволяют ему узнать характер волн. Эти наблюдения могут оказаться весьма любопытными, и каждая деталь может иметь определенный смысл. Трубы, повалившиеся в одну сторону, надгробные памятники, опрокинутые рядами, как шеренги внезапно погибших солдат, — все это свидетельствует о направлении колебаний. Камни, подброшенные вверх, дают представление о силе вертикального толчка. Даже узор трещин, возникших в почве и в стенах кирпичных строений, может служить известной информацией.

Иногда каменные памятники оказываются повернутыми на своем основании, что, вероятно, свидетельствует о каком-то круговом движении почвы. Однако инженеры оспаривают эту гипотезу, утверждая, что к такого рода последствиям могут привести также и прямолинейные колебания.

И все-таки человеческая наблюдательность имеет определенный предел. Уже отмечалось, что люди как наблюдатели допускают множество промахов. Приборы же, будучи гораздо надежнее и чувствительнее людей, не пропускают ни самих волн, ни их неожиданных последствий и дают нам полную картину колебаний.

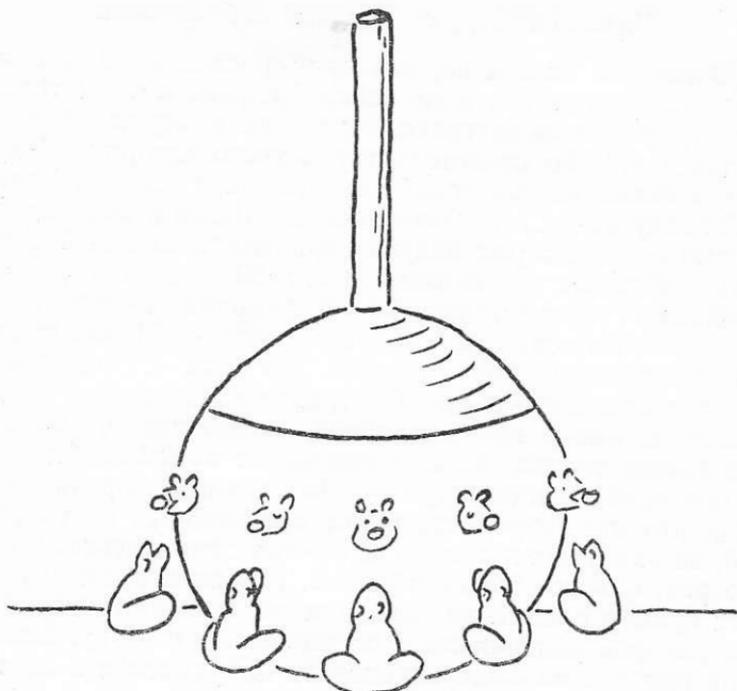
Чувствительные инструменты созданы только в последние годы, хотя история их создания восходит к давним временам. Приборы, которые были сконструированы в древности, представляют теперь интерес только как превосходные образцы поистине необыкновенной выдумки умельцев далекого прошлого. Научная ценность их ничтожна. Они предназначались лишь для регистрации, но никак не для сопоставления характера землетрясений. И только благодаря возникшей в самое последнее время потребности в точных измерениях сейсмология из разряда искусств превратилась в важный раздел науки о Земле. Как известно, для многих поваров приготовление пищи — своеобразное искусство. Они никогда не скажут вам, сколько муки или соли нужно для пирога. «Достаточно», — вот их ответ. И тем не менее готовят превосходные блюда. Но мыслимо ли представить себе современную пекарню или кондитерскую фабрику, где изделия готовятся бы на глазок, без тщательного взвешивания? Так и в сейсмологии исследования немислимы без точных измерительных приборов.

Начало инструментальной сейсмологии

Очевидно, самый первый прибор следовало бы называть сейсмоскопом, а не сейсмографом, ибо он только регистрировал землетрясения, но не измерял их силу. Изобрел его, по свидетельству некоего историка, Чжан Хен, возглавлявший отдел альманахов и истории Китая, в 132 году н. э. Со свойственной китайцам изобретательностью он смастерил искусно орнаментированный сосуд в виде бочонка диаметром около 90 сантиметров. На внешней поверхности сосуда он укрепил восемь голов драконов; в пасти каждого лежал шарик. Ниже, под головами драконов, он поместил лягушек с поднятыми вверх открытыми ртами. Внутри сосуда, подобно языку колокола, висел маятник, укрепленный так, чтобы при подземном толчке, покачнувшись, он выбивал бы один из шариков в пасть лягушки. По-видимому, предполагалось, что это устройство будет срабатывать от колебаний, не заметных для людей; однако сомнительно, чтобы оно реагировало таким образом. Но, во всяком случае, этот прибор предназначался для определения направления распространения волн по упавшему шарикю. Благодаря ему можно было определить направление к центру землетрясения.

Во времена Чжана, когда человечество имело самые смутные представления о характере происходящих событий, все непонятное становилось предметом мистификации. Предания о происшествии обрастали множеством подробностей, что являлось своеобразной попыткой наиболее любознательных людей осмыслить и истолковать происходящее. Интересно отметить, что на приборе Чжана были изображены драконы и лягушки, — в те времена символы всего таинственного, что царило на земле и в небесах. Землетрясение — это земное явление, но происходило оно, как верили, по воле небес. Польза от прибора Чжана была невелика, со временем о нем совершенно забыли, и только много веков спустя ученые вновь обнаружили его.

Намного позднее — в 1703 году — француз по имени Отфёй заполнил ртутью сосуд, по краям которого было сделано восемь отверстий и под ними помещены чашечки. При сотрясениях земли сосуд наклонялся и ртуть заполняла чашечку. По своему назначению прибор Отфёя



Сейсмоскоп, изобретенный Чжан Хеном в 132 году н. э.

Шар со специальным приспособлением внутри него покачивался от сотрясения, и тогда из пасти дракона в разинутый рот лягушки падал шарик. Подобные приборы реагировали только на очень сильные колебания и приблизительно указывали направление колебаний.

напоминал устройство Чжана, и он также давал весьма скудные сведения о землетрясениях. Однако нельзя не отметить, что принцип построения приборов такого рода и сейчас еще окончательно не отброшен. Даже в наши дни встречаются люди — из числа тех, кто не в состоянии обзавестись настоящими приборами, — которые подвешивают маятник над песком и по его отметкам определяют направление распространения волн¹.

В конце XIX века было сконструировано несколько оригинальных приборов, предназначенных для фиксации времени землетрясения. Достигалось это остановкой

¹ Не направление распространения волн, а направление проходящих колебаний. Это не одно и то же.— *Прим. ред.*

часов, зажиганием лампочки, включением звонка и множеством других похожих способов. Однако ни один из этих приборов не мог измерить силу землетрясения или же указать его место.

Маятники — неперемнная деталь сейсмографов. И это не случайно. Разумеется, проблема заключается в том, чтобы измерить смещение почвы на станции наблюдения. Но как и из какой исходной точки это сделать, когда в движение приходит вся Земля?

Ответ на этот вопрос не требует особой сообразительности: он вытекает непосредственно из нашего повседневного опыта. Всем хорошо известно, что свободно висящие предметы стремятся сохранить свое изначальное положение в тот момент, когда все другие предметы вокруг них приходят в движение. Мы сталкиваемся с этим явлением в автобусах — стоит водителю тронуть машину с места, как ремешки поручней отклоняются назад. Неся в руке стакан с водой и делая при этом резкое движение, мы видим, как вода, стремясь остаться на месте, выплескивается через край. Свойство висящего маятника оставаться в покое определяется его *инерцией*; благодаря инерции маятника мы получаем неподвижную или почти неподвижную точку, от которой можно вести измерения. Большинство сейсмографов устроено именно по этому принципу.

Маятниковые сейсмографы известны уже давно, но долгое время качество их было неудовлетворительным. Из-за необходимости прикреплять к маятнику записывающие устройства их восприимчивость и точность значительно снижались. При измерении слабых эффектов от удаленных землетрясений результаты оказывались неважными. Как и профессору Маккомбу, им явно не хватало чувствительности.

Для того чтобы устранить этот недостаток, маятники стали делать все тяжелее. Так продолжалось до тех пор, пока сейсмологам не надоело хвастать гигантским весом своих приборов. Двадцатитонные сооружения стали обычным явлением. Стоит ли говорить, что чудовищный размер таких приборов делал их страшно неудобными в обращении и не способствовал достижению достаточной чувствительности.

Примерно в 1855 году Луиджи Пальмери, директор обсерватории на Везувии, изобрел так называемый

электромагнитный сейсмограф, который, однако, не имеет ничего общего с современными приборами. В настоящее время он не применяется.

В середине 1880 года Джон Милн¹ — один из крупнейших сейсмологов — внес в конструкцию прибора важное усовершенствование, использовав для записи фотобумагу. Тем самым он исключил трение. Кроме того, Милн предложил вести регистрацию волн на движущейся ленте с одновременной автоматической отметкой времени на ней. Подобное усовершенствование прибора позволяло с большей точностью фиксировать время прихода волн. Но, к сожалению, бумага двигалась недостаточно быстро, поэтому отметки времени на ней делались без необходимой точности.

Но вот появился Голицын!

Ценнейший вклад в развитие сейсмологии принадлежит гениальному русскому ученому. Следует подчеркнуть, что русские ученые играли видную роль на протяжении всей истории сейсмической науки.

Князь Борис Голицын нашел лучший путь усовершенствования прибора и тем самым увековечил свое имя в истории сейсмологии.

По каким-то причинам он не был признан в научных кругах России. Оскорбленный, он покинул страну и переехал во Францию, в Страсбург, где и поныне находится одна из крупнейших в мире сейсмических лабораторий. Здесь он встретил теплый прием и богатую возможность для творческой деятельности².

¹ Джон Милн (1850—1913) — английский горный инженер, один из основателей сейсмологии; создатель сейсмографа, получившего распространение в конце XIX века. Милн долгое время работал в Японии.— *Прим. ред.*

² Б. Б. Голицын (1862—1916) после окончания Морской академии в чине офицера решил поступить в университет и заняться физикой. В царской России военные должны были сдавать экзамены за весь гимназический курс. В связи с этим Б. Б. Голицын поступил в университет в Страсбурге, где условия поступления были легче. В Страсбурге Голицын не занимался сейсмологией, а изучал лишь физику. Здесь автор не вполне точен.

Акад. Б. Б. Голицын является одним из основоположников современной сейсмологии, особенно ее физической стороны. Он основал также сеть сейсмических станций в России и выполнил ряд крупных исследований.— *Прим. ред.*

Величайшее открытие Голицына, которое вывело сейсмологию из тупика на широкую дорогу новых научных достижений, состояло в том, что он догадался укрепить тонкую проволочную катушку на маятнике и поместить ее между полюсами магнита. Тем самым были полностью устранены все механические помехи при регистрации колебаний. Когда все окружающие предметы приходили в движение, маятник сохранял некоторую неподвижность; движение магнита возбуждало в катушке электрический ток небольшой силы. В основе достигнутого Голицыным эффекта лежал известный принцип электромагнитной индукции, впервые обнаруженный и изученный Фарадеем в середине XIX столетия, а ныне используемый во всех электрических генераторах. Ток, возникавший в системе Голицына, приводил в движение катушку чувствительного индикатора электричества, называемого гальванометром, и тем самым точно фиксировал колебания. Как видим, проблема решалась весьма просто, но человечество ожидало это решение долгие годы.

Современные сейсмографы

История создания сейсмографа длинная и сложная. Современные сейсмографы значительно отличаются от простых приборов Голицына. В одних используется электрическая следящая система. В других применена комбинированная система электрической регистрации Голицына и системы записи Милна. В третьих для записи показаний используют самописцы, и наконец в некоторых приборах запись ведется на магнитную ленту. Все они оборудованы электрической системой, и благодаря могуществу электроники в них достигнута высокая чувствительность и точность. На некоторых сейсмографах возможна запись колебаний почвы с усилением в сотни тысяч раз! Даже землетрясение средней силы, которое происходит где-нибудь в районе Китая, уверенно регистрируется в Нью-Йорке, Лондоне и любом другом месте земного шара.

Обычный маятник, подвешенный к опоре, усовершенствовали, укрепив его в почти горизонтальном положении. Он стал качаться, как калитка в ограде. Преимущество такого способа крепления заключается в том, что период собственного качания маятника увеличивается и

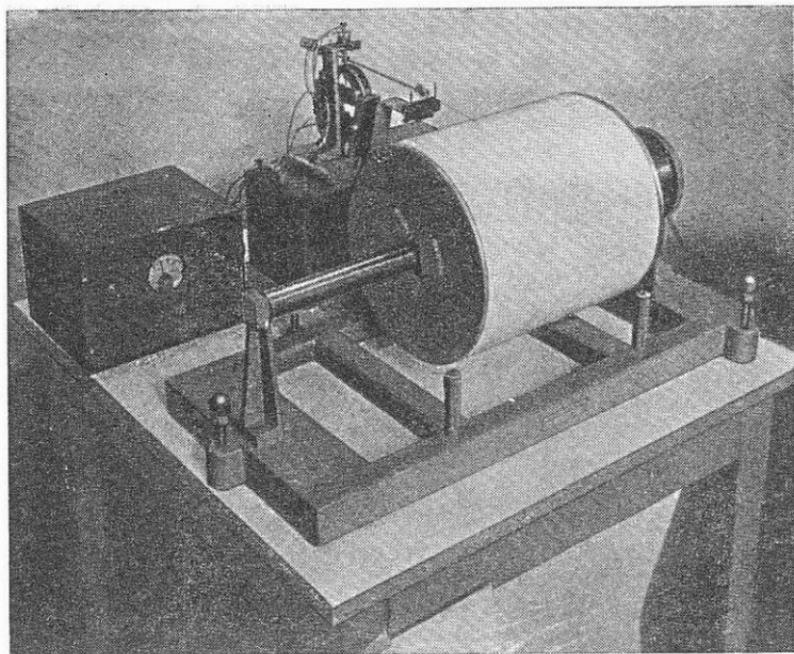
тем самым его чувствительность повышается. В самом деле, для измерения истинной величины колебаний земли необходима полная, насколько это возможно, неподвижность маятника.

Любой маятниковый сейсмограф регистрирует колебания только одного направления и не в состоянии дать полную характеристику смещений в других. Чтобы фиксировать колебания разных направлений, все первоклассные сейсмические станции имеют приборы, регистрирующие порознь смещения в меридиональном и широтном направлениях. Комбинируя их показания, можно, правда не всегда с достаточной степенью определенности, выяснить общее направление распространения волн¹. Если вам доведется прочитать в газете, что некий сейсмолог из университета Фордхэм зарегистрировал землетрясение и определил его место в каком-нибудь удаленном районе, например в Южной Америке, можете не сомневаться, что университет Фордхэм оборудован такими сейсмографами.

На первоклассных сейсмических станциях имеются сейсмографы для регистрации вертикальных колебаний: груз, подвешенный к пружине, стремится остаться в покое и ведет запись вертикальных смещений почвы. Эти данные дополняют характеристику волн, достигших станции наблюдения.

Находят применение и сейсмографы без маятника. Один из таких* сейсмографов называется «деформометром». Этот сложный прибор, сконструированный Гуго Бениоффом, вообще не предназначен для непосредственного измерения колебаний почвы. Он состоит из системы приспособлений для определения растяжения грунта. В деформометре имеется измерительный стержень, относительно которого измеряют величину растяжения или сжатия пород при прохождении волн через них. При тщательных измерениях длина стержня, а следовательно, и температура все время должны оставаться постоянными. Вот почему прибор помещают в пещеры или туннели, строительство которых обходится обычно очень дорого. Однако преимущества прибора оправдывают связанные

¹ Это возможно для продольных или поляризованных поперечных волн. Такой прием определения направления на эпицентр был впервые предложен Б. Б. Голицыным.— *Прим. ред.*

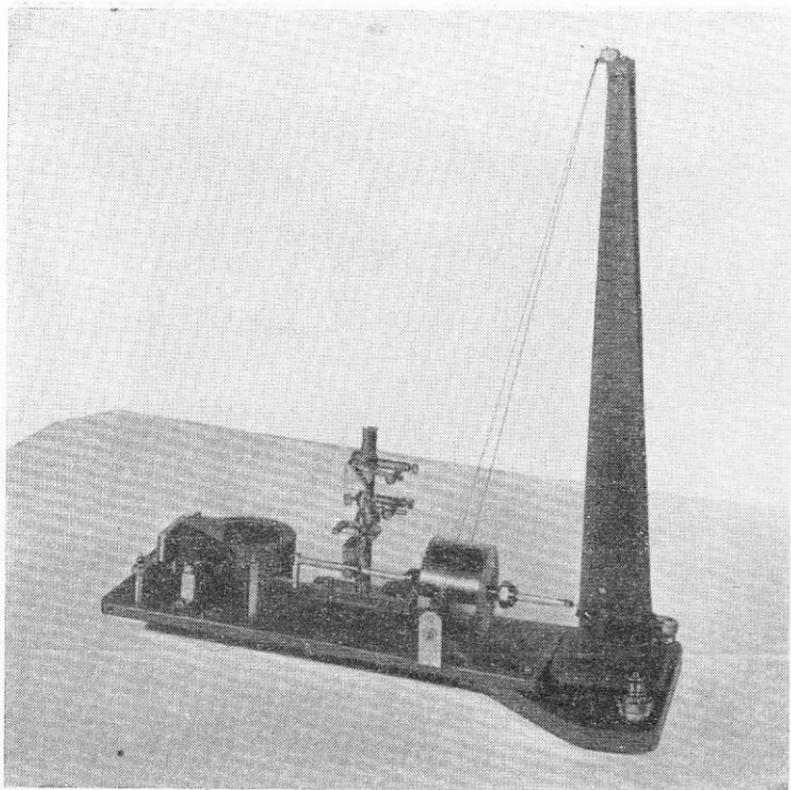


Записывающее устройство сейсмографа.

Перо самописца приходит в движение от электрического сигнала при землетрясении. Большой барабан делает один оборот в течение 30 минут и постепенно смещается вдоль оси, в результате чего записи не накладываются друг на друга. Движущееся перо самописца как бы «удостоверяет подпись» землетрясения.

с ним затраты. Прибор, в частности, позволяет хорошо регистрировать чрезвычайно длинные волны, период которых гораздо больше, чем время, когда маятник находится в покое. Прохождение таких волн может длиться десятки минут.

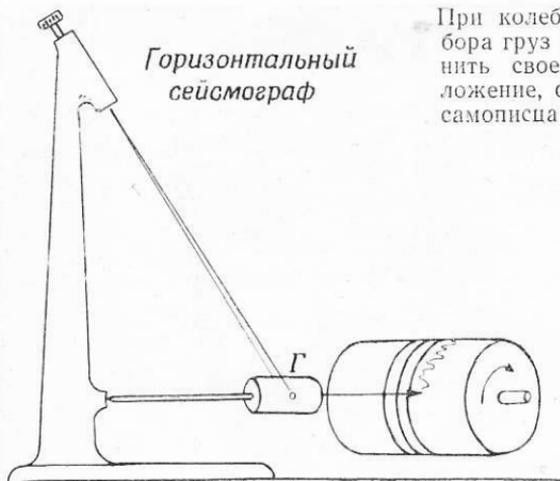
В наши дни с помощью высокочувствительных приборов человечество имеет возможность получать и обрабатывать информацию обо всех сильных землетрясениях на земном шаре. Разумеется, это не означает, что фиксируются абсолютно *все* землетрясения, так как из ежегодного числа сотрясений, равного приблизительно миллиону, большинство настолько слабые, что зафиксировать их могут только сверхчувствительные приборы, расположенные поблизости от места удара. На земном



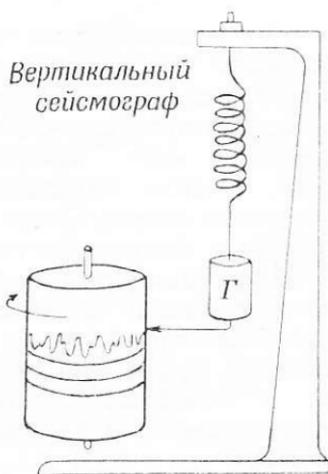
Горизонтальный сейсмометр Маккомба — Ромберга (устаревшая модель).

Стержень с грузом упирается в подпятник у основания прибора и поддерживается в горизонтальном положении с помощью проволоч. В таких приборах незакрепленный конец стержня движется в магнитном поле подковообразного магнита, возбуждая слабые электрические токи, которые передаются на записывающее устройство.

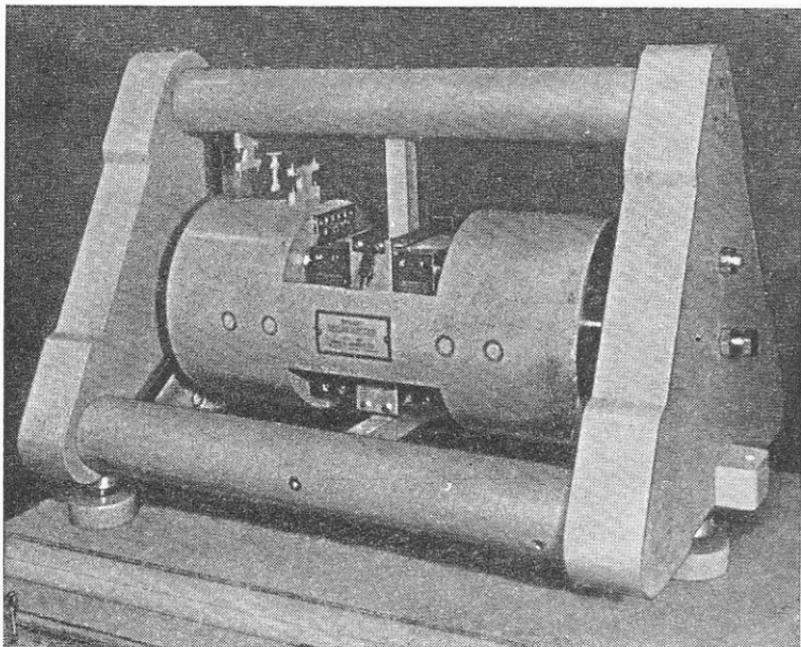
шаре можно назвать пока только два-три района, где имеются столь благоприятные условия. Одним из них является Калифорния. Калифорнийский университет и Калифорнийский технологический институт оборудованы первоклассными приборами. Возможно, что со временем история землетрясений в Калифорнии будет настолько полной, что многие особенности перестанут быть загадкой, и это позволит ученым предугадывать землетрясения. Но до этого им предстоит выполнить большой объем исследований.



При колебаниях почвы и прибора груз (Γ) стремится сохранить свое первоначальное положение, фиксируя с помощью самописца колебания на бумаге.



При вертикальных перемещениях почвы подвешенный на пружине груз (Γ) остается в покое и регистрирует волны с помощью самописца,



Сейсмометр Бениоффа.

Высокочувствительный прибор, позволяющий обнаруживать большее число землетрясений, чем сейсмографы старых типов. Центральный цилиндр — это тяжелая масса, которая остается неподвижной, когда ее опора приходит в движение даже от малейших колебаний почвы. Возникающий при этом электрический ток передается на записывающее устройство.

Нас интересует не только район землетрясения, но и на какой глубине от поверхности Земли оно происходит. Место, где зарождается землетрясение, называют «очагом», или «фокусом». Зная фокус, сейсмологи могут установить, с каким землетрясением им приходится иметь дело, а также выяснить некоторые сведения о внутренних слоях Земли. Очень важной характеристикой землетрясения, помимо местоположения, является его сила.

Для сейсмологов большой интерес представляют разломы, а именно глубина и направление перемещения пород. Они стремятся как можно полнее выяснить картину явлений, происходящих в глубоко погребенных и навсегда скрытых от наблюдения разломах. Это наиболее привлекательная для сейсмологии задача, и мы можем сказать, что в этом направлении достигнут определенный

прогресс. Сложные кривые сейсмических записей в один прекрасный день удастся расшифровать, и тогда многие детали станут нам понятны. Это даст возможность точнее предсказать появление гигантских морских волн. Инженеры смогут строить безопасные здания. И, разумеется, мы узнаем что-нибудь новое о нашей планете.

Сейсмические волны за работой

С присущей им изобретательностью люди нашли возможность использовать сейсмические волны в своих практических целях. Главная область применения — поиски нефтяных месторождений. Слабые колебания, вызываемые подземными «выстрелами» зарядов взрывчатки, в состоянии достичь приемных устройств, расположенных по соседству. Существуют небольшие сейсмометры простой конструкции, называемые «геофонами». Волны поступают в определенной последовательности в зависимости от пройденного ими пути и отражений, которые они испытали от захороненных пластов пород. Так человек, отправляя в недоступные для обозрения глубины Земли своих невидимых посланцев, получает ответ на интересующие его вопросы.

Проведя с помощью множества взрывов обследование большой территории и полностью проанализировав показания приборов, можно определить форму пластов пород на глубине. Геологи установили, что породы некоторых геологических формаций, особенно в тех случаях, когда они образуют куполовидные поднятия — своеобразные ловушки, — благоприятны для образования залежей нефти. Поиски геологических формаций и куполовидных структур сейсмическими методами обходятся гораздо дешевле, чем поиски бурением десятков и сотен скважин. Применение сейсмических методов позволило обнаружить большое число крупных нефтеносных бассейнов.

До разработки метода сейсморазведки новые важные нефтяные месторождения в США открывались не чаще одного раза в год. В 1924 году в Техасе сейсмическим методом был обнаружен крупный купол. За десять лет с глубины около 100 метров было добыто почти 500 тысяч тонн нефти. Компания, впервые применившая сейсмораз-

ведку, была щедро вознаграждена. Метод оказался настолько выгодным, что им стали пользоваться другие компании, и в течение последующих десяти лет они ежегодно обнаруживали по восемь новых нефтяных месторождений!

Поиски скрытых в земле секретов

Метод сейсморазведки превосходно оправдал себя и на море, так как короткие волны беспрепятственно проходят сквозь толщу воды и проникают в слои горных пород на дне моря. Купола были обнаружены под толстым слоем илистых осадков в Мексиканском заливе. Сейчас многие нефтяные вышки Техасской нефтяной компании установлены в водах залива за десятки километров от побережья Техаса и Луизианы, выкачивая из недр необходимое для американских автомашин и самолетов горючее. Некоторые скважины пробурены в породах, навечно скрытых под 60-метровой толщей океанской воды.

Сейсморазведка оказалась полезной и при проектировании сооружений для обнаружения коренных пород под почвенным покровом. С помощью этого простого метода строители оценивают стоимость земляных работ и определяют, где можно закладывать фундамент тяжелых сооружений. Дэниел Лайнеан, священник из Уэстонского колледжа, шт. Массачусетс, в поисках давно забытых подземных катакомб даже отважился взорвать динамитные патроны, нарушив священный покой Ватикана. Находясь в районе Антарктиды во время Международного геофизического года, он также помог летчикам определить глубину залегания коренных пород под проектировавшейся новой взлетной площадкой в проливе Мак-Мердо. После этого он отправился к Южному полюсу. Там раскинулся поселок американских исследователей, наполовину зарытый в снег в необъятной ледяной пустыне, которая более чем на 3 километра возвышалась над уровнем моря — на 600 метров выше доступного всем ветрам пика Вашингтон в шт. Нью-Гемпшир. Какова же толщина ледяного покрова под поселком?

Измерить толщину льда оказалось нелегко, но после ряда попыток Лайнеан и другие исследователи обнаружили, что ледяной чехол тянется на всю глубину до самого уровня моря. Звуковые колебания смогли пронзить

более чем 3-километровую толщю льда дважды — туда и обратно — и, кроме того, предупредить о своем возвращении приборы, установленные на вершине ледяного покрова.

Еще более толстый покров льда был обнаружен около американской станции Байд в западной части Антарктики. Толщина его в одном месте оказалась равной почти 5 километрам — вся толща льда покоится на коренных породах, лежащих примерно на 2 километра ниже уровня моря. Ученые установили, что подошва ледяного покрова во многих местах Антарктиды находится ниже уровня моря. Если через миллионы лет климат потеплеет и лед растает, на месте Антарктиды будет не сплошной континент, а архипелаг. Это нам стало известно благодаря сейсморазведке.

Микросейсмы

Список сейсмических волн будет неполным, если мы не упомянем об одном виде загадочных мелких волн, в основном затрудняющих работу сейсмологов, но временами приносящих и пользу. Они регулярно регистрируются по всему земному шару непрерывно, днем и ночью. Из-за небольшой величины эта странная «дрожь» названа «микросейсмами».

Микросейсмы были обнаружены в самом начале зарождения инструментальной сейсмологии. В 1872 году итальянский исследователь Бертилли решил, что мелкие колебания маятника связаны с изменением атмосферного давления. И он не ошибся! В 1900 году священник Олг, изучавший микросейсмы на Филиппинских островах, объяснил их появление штормами в Тихом океане. В 1909 году один из сейсмологов на островах Самоа пытался предсказать штормы по увеличению размеров микросейсм. Однако до появления прибора Голицына природа этих колебаний была исследована слабо, так как большинство старых механических сейсмографов не могло их регистрировать. Даже в наши дни остается ряд нерешенных проблем.

Большинство сейсмологов в состоянии предсказать изменение погоды, даже если они не знают прогноза. Это объясняется тем, что на записях приборов происходит увеличение амплитуды и изменение частоты колебания

различных микросейсм. Иногда такое дрожание затуше- вывает все остальные записи приборов. Подобные записи сейсмологи называют «винегретом». Причиной их могут быть сотрясения почвы от сильного ветра при прибли- жении бури или, вероятнее всего, колебания грунта при резкой смене атмосферного давления.

Очевидно, микросейсмы регулярнее возникают на море, чем на суше. Для большинства сейсмических стан- ций, расположенных вдоль побережий, это явление — су- щее бедствие. Некоторые ученые высказали предположе- ние, что микросейсмы вызываются прибором. Однако если это так, то почему же они появляются не системати- чески, как этого можно было бы ожидать? Вероятно, они возникают в результате распространения каких-то осо- бых ритмических волн либо непосредственно в воде, ли- бо в атмосфере над ней. Некоторые штормы, особенно ураганы, систематически вызывают появление очень энергичных микросейсм¹.

Военно-морские силы США при содействии Управ- ления береговой и геодезической службы в течение не- скольких последних лет провели серию исследований, надеясь отыскать надежный метод обнаружения тропи- ческих ураганов и наблюдения за ними с помощью мик- росейсм. Размещенные во Флориде и на островах Вест- Индии приборы смогли показать направление, откуда шли микросейсм. Одно время даже казалось, что этот метод будет эффективен для обнаружения морских штор- мов. Действительно, некоторые штормы удалось обна- ружить именно таким способом. К сожалению, как по- казали более тщательные исследования, подобный метод не позволяет сделать достаточно определенного вывода, поэтому работы были прекращены. Теперь для этой цели сейсмографы, очевидно, не понадобятся, так как Бюро прогнозов погоды начало использовать для обнаружения ураганов специальные поисковые самолеты.

Микросейсмы и поныне — «наказание» для сейсмоло- гов. Там, где они сильны, они настолько ухудшают запи- си приборов, что невозможно выполнить тщательную ра-

¹ Известно, что микросейсмы образуются от стоячих морских волн, а последние в свою очередь возникают либо из-за встречных волн в области циклонов, либо при отражении волн от берега.— *Прим. ред.*

боту по анализу записей истинных землетрясений. Наиболее благоприятными для станций, регистрирующих землетрясения, являются районы, где микросейсмь очень малы. Поиски таких мест — одна из насущнейших задач сейсмологов. Обычно наилучшими считаются области, удаленные от побережья. Правительство США рекомендовало для строительства сейсмологической лаборатории одно из самых удобных мест рядом с городом Альбукерк, шт. Нью-Мексико.

Сейсмология в космический век

Как мы уже знаем, волны землетрясений при вступлении на станцию регистрации в соответствии с пройденным ими путем и испытанными отражениями могут «повеждать» нам о строении невидимых внутренних слоев Земли. Ученые считают, что исследование «лунотрясений» позволит приоткрыть тайну структуры Луны, если только им удастся доставить туда сейсмограф!¹ А так как на Луне нет ни океанов, ни атмосферы, то, вероятно, там не будет и микросейсм! Но расширяется ли Луна или сжимается и изменяется ли она, как Земля?

Решив эти проблемы, мы могли бы раскрыть некоторые секреты Вселенной, поэтому НАСА² планирует доставить на Луну сейсмограф. Этой проблемой заняты ученые в созданной Бено Гутенбергом сейсмической лаборатории в Калифорнии. Они сконструировали приспособленный для транспортировки ракетой сейсмограф, который будет передавать по радио на Землю сейсмограммы.

Интересно, как бы отнесся к этой идее Голицын, да и сам Гутенберг?!

¹ Мягкая посадка советской космической станции на Луну (3 февраля 1966 г.), несомненно, приблизила этот момент. — *Прим. ред.*

² НАСА (NASA) — Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства. — *Прим. ред.*

VII. КАКОВА СИЛА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ?

Пока мы не в состоянии измерить объекты, о которых мы говорим, или выразить их числами, наши знания ограничены.

Лорд Кельвин

Грохот грузовика по булыжной мостовой — это землетрясение? А взрывы динамита в карьерах и на строительных площадках? А как следует относиться к волнам, образующимся при взрывах атомных бомб на испытательном полигоне в Неваде? Ведь волны от этих взрывов могут проделать по Земле путь по крайней мере в несколько тысяч километров.

Так что же такое землетрясение?

Да, все то, что мы назвали выше, — это землетрясения, если понимать под этим только сотрясения земли. Но в общепринятом значении и, согласно определению в словарях, эти явления — не землетрясения. В словаре Уэбстера, например, говорится, что причиной землетрясений являются разломы земной коры и взрывы вулканического происхождения. Но и в пределах этого ограниченного определения в категорию землетрясений попадает большое — и даже слишком — число сотрясений, которые заставляют нас постоянно отыскивать места, где они происходят, и измерять их силу.

Из общего числа ежегодных землетрясений (составляющего приблизительно миллион), достаточно сильных, чтобы их можно было зарегистрировать приборами, человек может почувствовать сравнительно немногие. Лишь несколько десятков из них кое-где приводят к трагическим последствиям, и, вероятно, только одно-два являются действительно катастрофическими. Однако ученых интересуют все землетрясения — как слабые, так и самые сильные.

Уже отмечалось, что многие землетрясения чрезвычайно слабо выражены. Некоторые из них могут быть

вызваны рушащимися породами в пещерах среди известняка или в заброшенных шахтах. Но тут же возникает сомнение: можно ли, согласно определению, считать их землетрясениями? Причиной других землетрясений нередко служат сильнейшие растрескивания пород в стенках горных выработок, связанные с изменением давления в породах. Эти явления носят название «горного удара», и их-то с уверенностью можно отнести к категории землетрясений.

Необходимость измерения

Подобные явления нарушают спокойствие земли. К этому приводят как крупные землетрясения, так и слабые толчки. Но по своим последствиям они различаются настолько, что если одним сейсмографом записать самое сильное и самое слабое землетрясение, то первое может оказаться в миллионы раз сильнее.

Столь очевидные различия в силе толчков вызывают необходимость в определенной методике их измерения. Это в первую очередь обусловлено тем, что следует знать, о какой силе землетрясений идет речь. В сравнении различных землетрясений и в определении силы каждого из них заинтересованы как инженеры, так и ученые. Но добиваются они этого различными путями.

Шкала землетрясений

В 1785 году Пигнатаро — тот самый итальянский ученый, который полагал, что он обнаружил зависимость землетрясений от положения Луны на небосводе, — создал оценочную шкалу. Спустя почти полвека с аналогичным предложением выступил немецкий ученый Эген. Как у того, так и у другого ученого были верные идеи, но ни один из них не имел такой информации, которая позволила бы создать удовлетворительную шкалу. Поэтому шкала, предложенная Пигнатаро и Эгеном, не нашла применения. Но в 1878 году два других исследователя совместно разработали довольно удобную сравнительную шкалу. Это были представитель Италии Де Росси и швейцарский ученый Форель. Шкалой Росси — Фореля кое-где пользуются и поныне. В ней приводится описание различных последствий, которые могут быть замечены

и оценены очевидцами, таких, например, как падение труб или появление трещин на мостовых.

Другой итальянский ученый — Меркалли, тщательно исследовавший периодичность землетрясений в промежутке с 1883 по 1901 г., выработал собственную шкалу оценки последствий землетрясений. Он подразделил все землетрясения на 12 групп в зависимости от их силы. С тех пор шкала Меркалли неоднократно видоизменялась другими исследователями в зависимости от местных условий. «Модифицированная» шкала Меркалли, вопреки поговорке «у семи нянек дитя без глаза», оказалась удачной. В той или иной форме она и по сей час используется инженерами и всеми теми, кто так или иначе связан с изучением разрушительных последствий землетрясений.

В ее основе, как и в основе всех других шкал, лежат признаки, определяющие степень воздействия землетрясений на почву, сооружения и даже на население. В качестве последних признаков упоминаются, например, пробуждение людей ото сна, их испуг и нервозность, а также реакция животных. По мнению Эйби, в числе признаков чаще всего фигурируют образы, наиболее привычные местным жителям. Так, например, в Австралии силу землетрясения сравнивали с эффектом, который вызывает «почесывание лошади об угол террасы».

Эти и другие признаки, не поддающиеся измерению, служат полезной информацией. И все же сведения о них не всегда удовлетворяют ученых, ибо они свидетельствуют не о силе землетрясения, а только о том, что произошло на некотором удалении от очага землетрясения.

Признаки, лежащие в основе шкалы, один из сейсмологов назвал примитивными; они позволяют оценить происходящее по воздействию на строения, находящуюся в доме посуду, поведение женщин и детей, домашних животных, а также на множество окружающих человека предметов. Сотрясение силой в два балла означает, что только некоторые люди почувствовали толчок; при 4-балльном ударе дребезжат окна; для 7-балльного свойственны небольшие разрушения; 10-балльный толчок является разрушительным. Во время землетрясения силой в 12 баллов (самого сильного) рушатся почти все строения, в воздух взлетают камни и (хотите верьте, хотите нет) из земли выскакивают врытые вглубь столбы!

Должен признаться, что мне ни разу не доводилось читать сообщения о землетрясении, где бы упоминался последний эффект, но, возможно, где-нибудь этот признак может и пригодиться. Модифицированная шкала Меркалли, три десятилетия назад усовершенствованная Гарри Вудом (Калифорнийский технологический институт) и Фрэнком Нейманом (Управление береговой и геодезической службы), в наши дни получила широкое распространение в США.

Модифицированная шкала Меркалли 1931 года¹
(в сокращенном виде)

1. Толчок почти не ощущается, за исключением отдельных лиц, и то при особо благоприятных обстоятельствах (1 балл по шкале Росси — Фореля).

2. Ощущается лишь немногими людьми, в этот момент отдыхающими, чаще всего на верхних этажах зданий. При этом могут покачиваться свободно подвешенные предметы (1—2 балла по шкале Росси — Фореля).

3. Ощущается совершенно отчетливо внутри помещений, особенно на верхних этажах, но население в основном не понимает, что колебания вызваны землетрясением. Автомобили на стоянках могут слегка сдвинуться. Сотрясения напоминают грохот проезжающего мимо грузовика. Продолжительность достаточная (3 балла по шкале Росси — Фореля).

4. Днем внутри домов ощущается многими людьми, снаружи — только отдельными лицами. Ночью люди просыпаются от дребезга посуды, окон, дверей; стены поскрипывают. Такое впечатление, будто здание трясется от проезжающего мимо грузовика. Автомобили на стоянках заметно сдвигаются с места (4—5 баллов по шкале Росси — Фореля).

5. Ощущается почти всеми жителями. Начинает падать посуда, вылетают стекла и т. п.; от строений откалываются куски штукатурки, опрокидываются неустойчивые предметы. Иногда заметно раскачивание деревьев, столбов и других высоких предметов. Могут остановить-

¹ В СССР принята двенадцатибалльная шкала ГОСТ 6249—52, в которой используются показания приборов. — *Прим. ред.*

ся маятниковые часы (5—6 баллов по шкале Росси — Фореля).

6. Ощущается всеми; перепуганные люди выбегают из зданий. Отдельные тяжелые предметы сдвигаются с места; в некоторых случаях осыпается штукатурка или рушатся печи. Разрушения небольшие (6—7 баллов по шкале Росси — Фореля)¹.

7. Люди покидают помещения. В специальных сейсмостойких зданиях разрушения незначительны; в прочных постройках обычной конструкции — больше; в ветхих или неправильно сконструированных зданиях отмечаются сильные разрушения; кое-где разваливаются печи. Ощущается пассажирами движущихся автомашин (8 баллов по шкале Росси — Фореля).

8. В сейсмостойких зданиях разрушения небольшие; в обычных прочных постройках — значительные, сопровождающиеся обрушением; в ветхих — большие. Из сооружений вываливаются панельные стены. Рушатся печи, заводские трубы, колонны, памятники, стены. Опрокидывается мебель. Образуются песчаные и грязевые фонтаны. В колодцах изменяется уровень воды. Среди пассажиров движущихся автомашин начинается волнение (8—9 баллов по шкале Росси — Фореля).

9. В сейсмостойких постройках разрушения значительные; хорошо спроектированные каркасные сооружения деформируются; в прочных зданиях разрушения серьезные, иногда с частичным обрушением. Здания сдвигаются с фундамента. Почва трескается. Лопаются трубы под землей (9 баллов по шкале Росси — Фореля).

10. Разрушаются некоторые прочные постройки; большинство каменных и каркасных сооружений рушится до основания. Почва сильно трескается. Рельсы искривлены. По берегам рек и крутым склонам происходят оползни и обвалы. Течет песок и грязь. Вода выплескивается на берег (10 баллов по шкале Росси — Фореля).

11. Большинство (если не все) каменных зданий разрушается. Рушатся мосты. В почве наблюдаются широкие трещины. Подземные коммуникации полностью выходят из строя. На рыхлых почвах отмечаются оползни и сдвиги. Рельсы сильно изогнуты.

¹ При силе сотрясения в 7 и более баллов обычно наблюдаются существенные разрушения. — *Прим. ред.*

12. Рушится все, что еще уцелело. По поверхности Земли распространяются волны. Многие предметы взлетают вверх.

Приводимая нами шкала носит название «шкалы интенсивности», или «шкалы силы сотрясения». Правда, оснований для этого нет никаких, но в свое время сейсмологи решили, что такое название ничуть не хуже любого другого, поэтому мы также будем его придерживаться. Сила землетрясения в том или ином месте во многом зависит от расстояния до очага. Немаловажную роль играет также характер земной коры и почвенного слоя, но это влияние нами изучено пока недостаточно.

Влияние местных особенностей на последствия землетрясений

По сообщению сэра Уильяма Гамильтона — британского посланника в итальянском порту Калабрия — от 1783 года, здания, построенные на рыхлых почвах, пострадали сильнее тех, которые стояли на прочном грунте или коренных породах. По-моему, он отдавал дань библейской притче о том, как опасно возводить жилища на песке. Землетрясение в Мексике, которое произошло 28 июля 1957 года поблизости от Тахко и Акапулько, вызвало сравнительно небольшие разрушения в этих городах, прочно обосновавшихся на каменных холмах. Но в столице Мексики, городе Мехико, который расположен значительно дальше от очага землетрясения, разрушения были очень серьезные и сопровождались человеческими жертвами — погибло 68 человек. Общие убытки от землетрясения составили около 25 миллионов долларов — сумма, достаточная для реконструкции нескольких небольших городов. Столь тяжкие последствия были вызваны тем, что здания Мехико построены на мощных глинистых осадках на месте некогда существовавшего озера. Эти рыхлые отложения колышутся подобно студню в блюде, если его резко встряхнуть. Такого рода «колыхания» оснований представляют большую опасность для зданий, чем резкие толчки в твердых породах — к этому выводу уже давно пришли инженеры. Возможно, если бы Мехико закладывался в наши дни, а не ацтеками

в XIV веке, современные градостроители разместили бы его на более прочном основании.

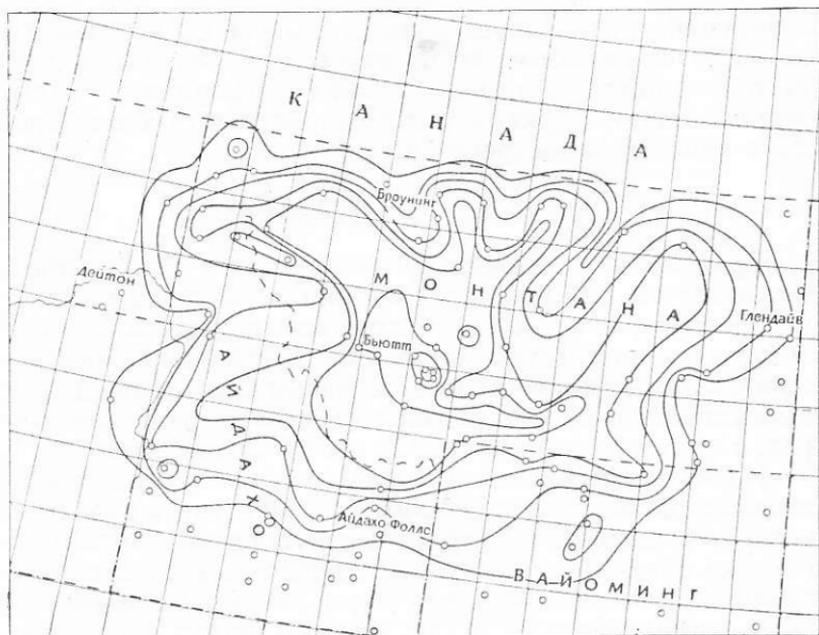
На приведенном примере нетрудно убедиться, что сведения об истинной силе землетрясений могут быть ошибочны. Так, толчок колоссальной разрушительной силы в пустынной местности может не вызвать никаких последствий, в то время как незначительное по силе сотрясение земли под каким-нибудь городом сопровождается сенсацией, несоразмерной с его истинным масштабом. Несколько лет назад в Перу произошло землетрясение, сильно разрушившее древнюю столицу инков — Куско, тогда как другие города почти не пострадали. Любопытно, что в Куско разрушенными оказались современные каменные здания, построенные после завоевания страны испанцами, а древние каменные сооружения инков полностью сохранились. И это тем более удивительно, ибо инки не скрепляли камни раствором. Секрет их кладки состоял в том, что они на редкость точно подгоняли массивные каменные блоки друг к другу. Этим объясняется ее исключительная прочность.

Карты интенсивности

Инженеры, строители и лица, интересующиеся последствиями землетрясений, могут получить ценную информацию с помощью карт нужных им районов, на которых нанесены сведения о сейсмичности. На этих картах обычно показаны линии, очерчивающие зоны различной интенсивности сотрясений.

В свое время это была отнюдь не простая задача. Впервые такую карту пытался составить немецкий исследователь Ноггерат, который занимался изучением землетрясения 1846 года. Однако в его распоряжении не было надежных данных о силе сотрясений, позволяющих составить удовлетворительную карту. И все же она оказалась полезной при определении эпицентра землетрясения. Характерно, что это произошло задолго до появления соответствующих приборов.

В настоящее время для получения нужной информации об интенсивности землетрясений государственные служащие и добровольные помощники образуют специальные команды наблюдателей. На основе целого ряда сообщений составляются карты. В этих случаях линии,



Карта изосейст землетрясения в районе Бьютт, шт. Монтана.

Каждая линия оконтуривает область с различной интенсивностью. Схема показывает особенности распространения волн в земной коре в различных направлениях.

очерчивающие зоны интенсивности толчков, наносятся с большей точностью и достоверностью. Иногда форма зон близка к окружности — это бывает в тех случаях, когда сила сотрясения одинакова во всех направлениях. Окружности большего размера очерчивают области с меньшими разрушениями. Когда характер пород обуславливает неравномерное распространение силы толчка в разных направлениях, линии могут значительно искривляться, вытягиваться в каком-нибудь одном направлении. Независимо от формы эти кривые носят название «изосейст», или, точнее, «линий равной сейсмической интенсивности, или силы сотрясения», а карты — «карт изосейст».

В числе тех, кто пользуется этими картами, можно назвать страховые компании. Им эти карты нужны для выяснения подверженности землетрясениям тех районов, где владельцы собственности хотят застраховаться от землетрясений. С помощью изосейст страховым

агентам нетрудно определить страховой полис. Что же касается сейсмологов, то их карты изосейст интересуют не только потому, что они содержат информацию о землетрясениях, но и указывают на скрытые в глубине пороги в районах землетрясений.

Магниту́да землетрясений

Вряд ли кому-нибудь придет в голову сомневаться, что интересы сейсмологов отличаются от нужд инженеров, репортеров или агентов страховых компаний. Их землетрясения интересуют прежде всего как природные явления, которые могут быть исследованы. Сейсмологи должны иметь ясное представление о действительной силе ударов, а не о том, что произошло где-то в отдалении.

Но это стало возможным лишь в самое последнее время, когда наука о Земле достигла такой ступени развития, которая позволила разработать новую шкалу. Честь разработки этой шкалы, основывающейся на силе самого землетрясения, принадлежит двум ученым Калифорнийского технологического института, о которых мы уже неоднократно упоминали, — Бено Гутенбергу и Чарльзу Рихтеру¹. Их «шкала магнитуд», иногда называемая «шкалой Рихтера», характеризуется величиной энергии, высвобождающейся во время землетрясения.

Гутенберг и Рихтер использовали тот простой факт, что интенсивность волн на поверхности в значительной мере зависит от энергии землетрясения. Сильное землетрясение вызывает появление значительных волн, а чем они значительнее, тем отчетливее их следы на сейсмограммах. С помощью стандартизованных приборов ученые получают записи; на основе изучения амплитуд они выводят энергию землетрясения, т. е. ту энергию, которая высвободилась в эпицентре землетрясений². Следует подчеркнуть, что это стало возможным только при применении современных высококачественных приборов, тщательно выверенных в сейсмологических лабораториях.

¹ Первую попытку оценки энергии землетрясения, которое произошло 18 февраля 1911 года в Таджикистане, сделал Б. Б. Голицын по колебаниям, зарегистрированным его приборами в Пулково. Землетрясение вызвало завал реки Мургаб и образование Сарезского озера. — *Прим. ред.*

² Не совсем так: лишь ту часть энергии, которая пошла на образование упругих колебаний. — *Прим. ред.*

Энергию обычно выражают в эргах (эрг — единица работы). Эта величина ничтожно мала — она вполне соизмерима с работой, выполняемой мухой за одну секунду. Во время сильного землетрясения число эргов выражается единицей с 25 нулями!

К величине магнитуды в шкале Рихтера не прилагается никакая качественная характеристика, которая используется в другой шкале интенсивности, или силы сотрясения. К сожалению, газетные репортеры, очевидно, не в состоянии разобраться в значении этих двух слов. Видимо, этим объясняются их подчас совершенно неправдоподобные сообщения об истинной силе землетрясения.

В отличие от модифицированной шкалы Меркалли в шкале магнитуд не употребляются баллы. Она численная, и числа находятся в быстро возрастающей прогрессии. Они связаны с энергией землетрясения, т. е. каждому последующему числу по сравнению с предыдущим или увеличению магнитуды на единицу соответствует увеличение энергии в 62 раза¹. В шкале такого типа значения величин магнитуд возрастают от нулевых до очень больших. Ученые называют эту шкалу «логарифмической». Для характеристики землетрясений можно использовать величины с десятичными знаками, так что землетрясения, например, могут иметь магнитуду 6,5 или 7,2.

Наибольшей из когда-либо отмечавшихся величин магнитуд землетрясений со времени использования современных приборов оказалась магнитуда, равная 8,9. Именно эта магнитуда соответствует уже упомянутому землетрясению, выделившаяся энергия которого в эргах измерялась числом с 25 нулями (то есть $\infty 10^{25}$ эргов).

Сильнейшие землетрясения

С момента появления современной инструментальной сейсмологии к сильнейшим следует отнести два землетрясения: толчок 31 января 1906 года на побережье Северного Эквадора и подводное землетрясение 2 марта

¹ Магнитуда пропорциональна логарифму энергии упругих колебаний, вызываемых землетрясениями. Соответствие между магнитудой и балльностью в эпицентре зависит от глубины очага. Для примера укажем, что магнитуда 6—7 приблизительно будет соответствовать силе сотрясения от 7 до 10 баллов в эпицентре, если глубина очага изменяется от 40 до 10 километров соответственно. См. также стр. 113.—114. — *Прим. ред.*

1933 года к востоку от северной части Японии. Ни одна из этих грандиознейших спазм Земли не упоминается в популярной литературе о катастрофических землетрясениях только потому, что они произошли вдали от крупных населенных пунктов и не вызвали гибели тысяч людей.

Величайшая гималайская катастрофа 15 августа 1950 года, которая сопровождалась разрывом горных хребтов и о которой мы уже говорили в главе о знаменитых землетрясениях как о наиболее сильной, была чуть слабее. Ее магнитуда оценивается в 8,7. Магнитуда землетрясения в Сан-Франциско (1906 год) оказалась равной 8,2, и по сравнению с землетрясением в Чили в мае 1960 года, которое имело магнитуду 8,5, оно несколько слабее. В энергии этих землетрясений имеются заметные различия. Разница в разрушительных последствиях имеет случайный характер и объясняется только близостью или удаленностью от населенных центров.

При каждом из крупнейших известных землетрясений, оцениваемых по шкале магнитуд Рихтера в 8,9, затрачивается столько энергии, сколько выделяется при взрыве 12 000 атомных бомб, подобных той, которая была сброшена на Хиросиму в августе 1945 года. И хотя с той поры мощность бомб неизмеримо возросла, сомнительно, чтобы когда-нибудь удалось создать такую бомбу, эффект от взрыва которой можно было бы сравнить с крупнейшим землетрясением. Энергия бомб даже при подземных взрывах не остается полностью в земле. Значительная часть ее излучается в тепловой или какой-либо другой форме. Энергия же землетрясений, наоборот, почти полностью передается упругими волнами, пронизывающими Землю насквозь.

По мнению японского сейсмолога Тсубои, существует предел возможной силы землетрясений. Этой же точки зрения придерживается и американский ученый Байерли. Их вывод основывается на том очевидном факте, что породы в земной коре имеют определенную прочность. Они могут накопить известную упругую энергию, после чего начинают разламываться. Если судить по записям сейсмографов, то «сильнейшие», с точки зрения Тсубои, землетрясения в этом столетии отмечались уже дважды. По-видимому, магнитуда 8,9 по шкале Рихтера никогда не будет превышена.

В тех местах, где сотрясения происходят часто, сила их обычно намного ниже максимально возможной. Это своего рода утешение, правда весьма слабое, для жителей областей, подверженных частым землетрясениям.

В своей книге «Землетрясения» Николас Хек дает анализ возможных крупнейших сотрясений района в целом или какого-нибудь определенного места. Его интересует, сумеют ли когда-нибудь сейсмологи определить, произошло ли в данном месте самое сильное из возможных землетрясений? Отметив, что некоторые землетрясения как бы «выжидают» того момента, пока не будет достигнуто максимальное напряжение пород, он приходит к выводу, что самое сильное землетрясение может произойти в любой момент. Следовательно, люди не могут считать себя в безопасности, полагая, что худшее уже позади. Однако сам Хек, по-видимому, не особенно уверен в этом, ибо он вдруг заявляет, что районы с длительной историей частых землетрясений следует рассматривать отдельно. В этих случаях, очевидно, слишком много причин позволяет считать, что худшее уже позади. Если придерживаться такой точки зрения, то, например, Сан-Франциско, вероятно, никогда более не станет объектом столь же сильного землетрясения, как в 1906 году. А может быть, Хек просто решил приободрить население этого огромного города?

Закономерности землетрясений

Как установили Бениофф и Рихтер, энергия землетрясений, как правило, имеет достаточно выдержанный ежегодный средний уровень частоты и магнитуды. Разумеется, это правило ничего не говорит нам о силе любого отдельного толчка, но оно очень важно при оценке совокупности всех толчков. Их постоянство, вероятно, свидетельствует о взаимосвязанности. Правда, до сих пор сейсмологам не удалось обнаружить никаких доказательств существования некоего связующего механизма землетрясений в различных районах земного шара. Что служит их «спусковым механизмом» — не ясно. Но, очевидно, должна быть какая-то общая причина, которая их вызывает. Возможно — хотя это только мое личное мнение, — что к этому имеет какое-то отношение генерация и излучение тепла в Земле.

VIII. ПРИЧУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Споткнулась как-то бедная Земля-старушка.

Джеймс Рассел Лоуэлл

Касаетесь ли вы деревянных предметов, когда говорите о своем сокровенном желании? Верите, что сны могут сбываться? И, положив руку на сердце, можете ли вы сказать, что вас не смущает число тринадцать? Ну, хорошо, допустим, что вы действительно не суеверны и не верите в различные таинственные явления и дьявольские козни. Как в таком случае вы объясните необычайное происшествие, непосредственным участником которого стал подполковник корпуса инженерно-саперных войск сэр Джеральд Ленокс-Конингэм?

Сэр Джеральд и силы природы

В 1938 году население Монтсеррата, небольшого острова из группы Вест-Индских островов, было взволновано непрекращающимся зловещим подземным гулом. Жители в испуге ждали либо землетрясения, либо извержения вулкана. В отчаянии они обратились в Министерство колоний в Лондоне за советом и помощью. Сотрудники министерства, с обычной для большинства англичан верой в то, что в Королевском обществе знают все, обратились туда с просьбой сделать что-нибудь для Монтсеррата.

Королевское общество решило направить на остров комиссию для обследования — может быть ей удастся выяснить причину грохота. Разумеется, никому, по крайней мере никому из членов общества, и в голову не пришло, что можно как-то остановить раскаты.

Сэр Джеральд Ленокс-Конингэм, недавно возвратившийся из поездки в Индию, был заметной фигурой среди английской аристократии и относился к тому типу людей,

которые с одинаковым успехом могут командовать как индийскими солдатами, так и почтенными пэрами из Королевского общества. Не удивительно, что именно ему предложили возглавить экспедицию на Монтсеррат.

Прибытие Ленокс-Конингэма на этот крошечный остров, несомненно, было весьма впечатляющим зрелищем. Как только он ступил на берег, выпрямившись во весь свой 183-сантиметровый рост и приняв еще более величественный, чем обычно, вид, — казалось, он готов полностью выполнить возложенные на него обязательства и взять под контроль даже грохочущие подземные силы.

Но неумолчный грохот почему-то смолк! Не слышно было ни звука. Что же случилось? Разумеется, силы природы вовсе не обязаны были подчиниться сэру Джеральду Ленокс-Конингэму. Но раскаты вдруг смолкли. Члены экспедиции ждали их возобновления с возрастающим нетерпением.

«Странно, — вновь и вновь повторяли местные жители сэру Джеральду, — когда вы входили в гавань, грохот еще продолжался!»

Сэр Джеральд так и не узнал, что же это было, — на острове все смолкло. Вскоре экспедиция вернулась в Англию, а престиж Королевского общества достиг своего апогея.

Землетрясения по расписанию?

Если случай с сэром Джеральдом кажется странным совпадением, то как объяснить землетрясение в Сиэтле в апреле 1950 года? Это землетрясение ничем не отличается от обычных, за исключением периодичности, которая до сих пор остается загадкой для ученых.

Ровно за год до этого — 13 апреля 1949 года — в районе Пьюджет-Саунда произошло чрезвычайно сильное землетрясение. Городам Олимпия и Такома был нанесен огромный ущерб. В Сиэтле также отмечались кое-какие разрушения, но погиб только один человек. Его гибель даже пытались объяснять следующим образом: по преданию, люди, которые не восхищаются знаменитой башней Смита в Сиэтле, гибнут во время землетрясения!

В апреле 1950 года Американское сейсмологическое общество проводило заседание в Сиэтле. Разумеется, со-

бравшиеся были превосходно осведомлены о прошлогоднем толчке, хотя никто из них не обратил внимания на дату — 13 апреля. Однако кое-кто из местных жителей, и среди них репортеры газет, вероятно, считали это зловещим предзнаменованием, ибо они спрашивали ученых, не повторится ли землетрясение в годовщину первого толчка.

Естественно, ученые только посмеялись над этим. Упрекнув репортеров в суеверии, они даже поместили опровержение в газетах, дабы успокоить население Сизтла.

Но природа зло подшутила над ними. В положенное время и по известным только ей причинам она вновь разразилась землетрясением. Ровно через год, 15 часов и 8 минут со дня пляски башни Смита в 1949 году население Пьюджет-Саунда вновь ощутило колебание земли! Правда, землетрясение было незначительным, но зато по времени оно совпало исключительно точно, приведя в немалое смущение сейсмологов, которые и по сей день не могут объяснить эту загадку.

Я долго недоумевал, как могло случиться, что предсказания сбылись — ведь они казались слишком невероятными! Японский сейсмолог Омори, анализируя периодичность прошлых землетрясений, пытался установить закон, который позволил бы предсказывать новые удары. К сожалению, такого закона он не вывел, но зато удивительно точно предсказал район и время будущих землетрясений. Изучив историю землетрясений в тихоокеанском районе, которые явились причиной катастрофы в Сан-Франциско (1906), Омори высказал свои соображения. В апреле он объявил, что, по его мнению, вскоре произойдут два сильных землетрясения: одно — в северной части тихоокеанского пояса, другое — в Южной Америке, в районе Перу и Чили. В августе того же года сильные землетрясения действительно произошли в названных Омори районах. Мало того, произошли они в один и тот же день!

Что это — причуды природы?

Не будучи суеверными, мы должны рассматривать эти явления всего лишь как случайное совпадение. Но, естественно, подобные происшествия оставляют глубокий след в памяти людей и приводят их в величайшее изумление.

Смещенные границы и несуществующие мели

Землетрясения сопровождаются не только загадочной периодичностью, но и другими не менее странными явлениями. Они нередко «выкидывают» досадные и весьма дорогостоящие шутки. Иногда их последствия могут быть очень серьезными; так, например, одно из многочисленных землетрясений на юге Калифорнии сместило государственную границу США с Мексикой в том месте, где она пересекает знойную долину Империял-Вэли. Мне так и не довелось узнать, каким образом смогли два государства восстановить нарушенную границу. Возможно, они решили предоставить природе право продолжить начатое и дать ей возможность последующими сотрясениями вновь соединить разорванную границу!

Трудно даже представить, сколько судов испытало резкую встряску от землетрясений, зарождавшихся в недрах Земли под толщей морских вод. Обычно в таких случаях капитаны склонны считать, что корабль наткнулся на невидимую мель или риф. Картографы, как правило, не принимают всерьез рассказы о мелях, встречающихся в глубоководных районах океанов, но все-таки они не могут полностью игнорировать эти сообщения, пока у них имеется хотя бы малейшая неуверенность в своей правоте. Поэтому на океанографических картах имеется множество пометок о мелях в тех местах, где корабли некогда испытали «встряску». Многие места помечены словом «сомнительно». Все это, естественно, затрудняет работу картографов, но, с другой стороны, помогает сейсмологам определить место подводных землетрясений.

Опустившиеся породы

В ноябре 1949 года в южной части Калифорнии произошло землетрясение; центр его находился в районе между Лос-Анжелосом и Лонг-Бичем на глубине в несколько километров. Несмотря на то что сила его была невелика и никаких разрушений в городах не наблюдалось, оно нанесло весьма серьезный ущерб, правда не бросающийся в глаза. На первых порах вообще полагали, что оно обошлось без последствий, пока не выяснилось истинное положение дел. Неподдалеку от эпицентра находился огромный нефтеносный бассейн, где были пробурены глу-

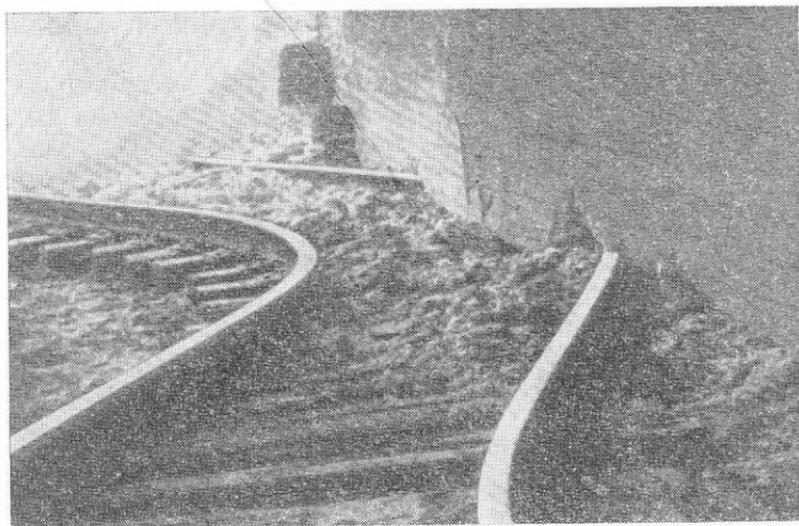
бокые скважины. После землетрясения песчаные пласты на глубине в 500 метров сместились максимум на 10—15 сантиметров, но этого оказалось вполне достаточно, чтобы срезать сотни две действующих нефтяных скважин и прекратить подачу нефти. Невидимое нарушение нанесло вполне реальный убыток, ибо стоимость повторного бурения каждой скважины оценивалась примерно в 50 000 долларов.

Вероятно, это землетрясение было вызвано извлечением нефти из недр. Нефтяники выкачали достаточное количество ее, поэтому появилась возможность опасного проседания грунта в окрестностях Лонг-Бича и Сан-Педро. Не исключены аналогичные последствия и от перекачки подземных вод для орошения долины Сан-Хоакин, в нескольких сотнях километров к северу. Но трудно сказать, вызовет ли это землетрясение на огромной обрабатываемой территории. С целью проверки изменения рельефа местности Управление береговой и геодезической службы точно промерило тысячи километров опорных профилей и выверило самые высокие опорные точки на большой площади.

Козни природы

Происшествие с достопочтенными священниками кафедрального собора христианской церкви в Новой Зеландии не принесло никаких серьезных убытков, но послужило источником сильного огорчения. По свидетельству Эйби, во время землетрясений не раз сбрасывался шпиль с церкви. Но какой же это собор, если у него нет шпиля? И маститые святые отцы после каждого землетрясения пытались водрузить его на место. На какие только ухищрения они не шли, придумали даже особый крест, укрепленный на опоре наподобие маятника. Все напрасно: шпиль был сброшен и после того, как его освятил епископ, специально для этой цели поднявшийся в люльке наверх. Наконец столь трудную проблему удалось решить: на соборе был построен деревянный шпиль — более упругий, чем металлический; он стоит и поныне.

В 1954 году в Неваде произошло землетрясение с магнитудой 7,1, которое вызвало образование огромного уступа на склоне горы Фэрвью и привело к появлению стены высотой примерно 6 метров по западной стороне



Столь странную деформацию рельс в туннеле в горах Техахапи вызвало землетрясение 1952 года в округе Керн.

долины Дикси. В одном месте, всего лишь в полутора-двух метрах от грозного разлома, чудом уцелела непрочная хижина старателей. Несомненно, в городе от такого сильного толчка полностью разрушились бы огромные деловые кварталы.

Старой деревянной хижине, не стоившей ломаного гроша, повезло. Землетрясение в округе Керн в июле 1952 года, которое лишь ненамного сильнее невадского, не было столь милостиво к городам на юге Калифорнии. Там разрушения были огромными, особенно в Бейкерсфилде. Неподалеку от него, на участке Южнотихоокеанской железной дороги, пересекающей горы Техахапи, стометровое расстояние между входами двух туннелей сократилось по крайней мере на 2,5 метра! Рельсы были причудливо скручены, а один из туннелей требовал серьезной перестройки.

Загадка пропавшего рельса

Рельсы, причудливо изогнутые в виде буквы S, словно они были «навеселе», скрывались в глубине туннеля. Один из них длиной в несколько метров оказался заму-

рованным в массивной бетонной стене туннеля. Свернутый в виде петли, он полностью исчез в стене, и лишь в нескольких метрах от этого места торчал его другой конец. Объяснить этот «китайский фокус» удалось не сразу. После долгих раздумий инженеры решили, что массивная стена туннеля была подброшена кверху и в этот момент в образовавшуюся щель попал изогнутый рельс; рухнувшая стена накрыла его, да так плотно, что поначалу можно было подумать, будто так и было раньше.

Но последствия землетрясений порой бывают просто смехотворными. Так, в 1958 году Национальная служба новостей оповестила всю страну о печальном происшествии в бакалейном магазине города Джуно, где во время толчка на пол были сброшены кетчуп и разные соленья. Во время слабого сотрясения в шт. Вашингтон в 1961 году в антикварном магазине в Портленде, шт. Орегон, разбились два графина. Надеемся, что они оказались не очень ценными! Но этот же удар имел и положительную сторону — он распахнул дверь в комнату, где лежала женщина, тяжело травмированная землетрясением, которое произошло год назад, и после этого она полностью поправилась!

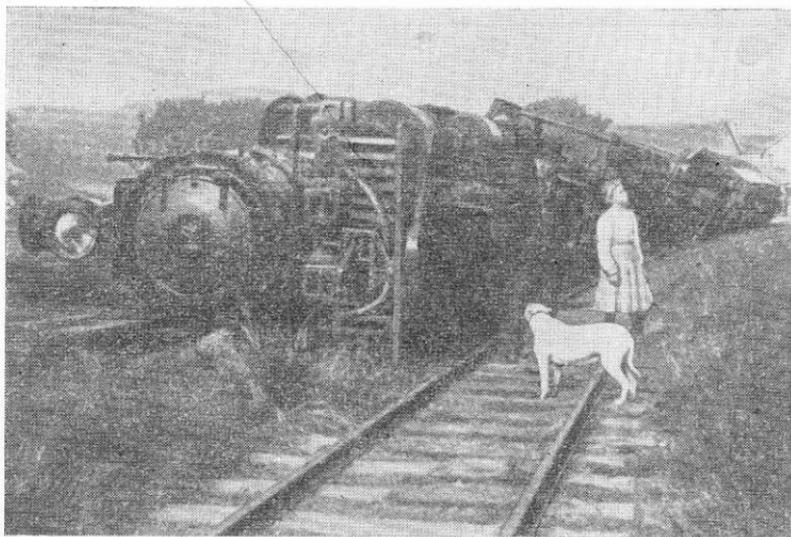
Оползни и другие последствия на земной поверхности

Мало того, что по прихоти природы напрочь рушатся возведенные человеком сооружения и жилища. Под действием собственных сотрясений земля нередко «рвется» на части. Нарушаются не только породы земной коры — прочный каркас Земли, но и непрочные массы ила, песка и других рыхлых отложений на ее поверхности.

В отличие от разломов в кристаллических породах, которые называются «тектоническими», так как они воздействуют на структуру Земли, эти нарушения носят название «поверхностных»¹, ибо они затрагивают только верхнюю часть Земли. Но они не всегда бывают незначительными по масштабу и иногда приводят к самым трагическим и разрушительным последствиям.

Если кому-нибудь из вас доведется видеть фотоснимки землетрясений, где будут изображены как бы «трес-

¹ К сожалению, иногда поверхностные нарушения принимают за проявление тектонических процессов. — *Прим. ред.*



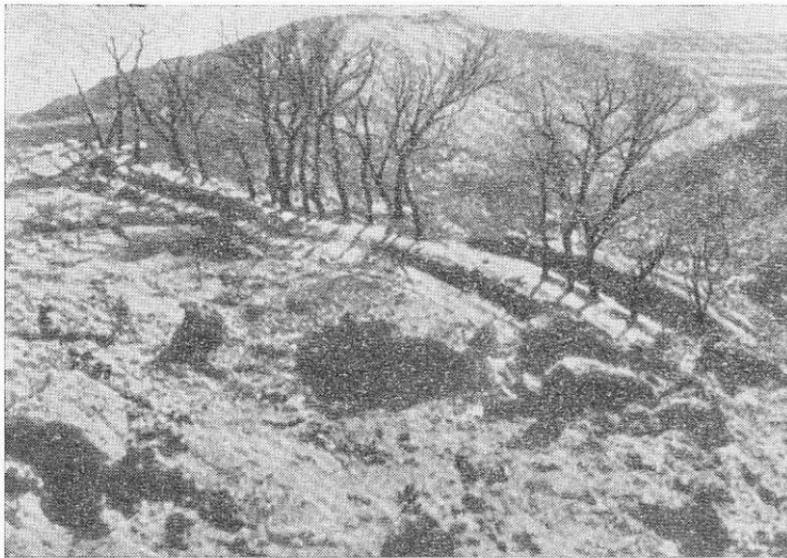
Поезд, опрокинутый землетрясением 1906 года в Калифорнии.

нутые» шоссеиные дороги или оползни, разорвавшие железнодорожное полотно на части, знайте, что они вызваны именно этими поверхностными эффектами землетрясений. Это результат усадки или сползания огромных рыхлых масс грунта от сотрясения земли; такие явления преобразуют ее лик.

Вспомним, что калифорнийское землетрясение 1906 года вызвало перемещение влажных лугов вниз по склону на 800 метров. Те, кто читал сообщения газет о сильном землетрясении в Чили 22 мая 1960 года, возможно, помнят, что в области высокогорных озер район протяженностью в 40 километров опустился на сотни метров! Я полагаю, что это было вызвано оползнем длиной в 40 километров. Оползень длиной в 40 километров — на это стоило бы посмотреть!

Естественно, что весь этот сползший материал был нагроможден у подножия горного склона. Перемещение его было далеко не мирным, и вряд ли кто-либо мог чувствовать себя в безопасности, передвигаясь вблизи этой рушащейся массы.

С другой стороны, во время землетрясения в Кансу, Западный Китай, которое произошло 16 декабря 1920 го-



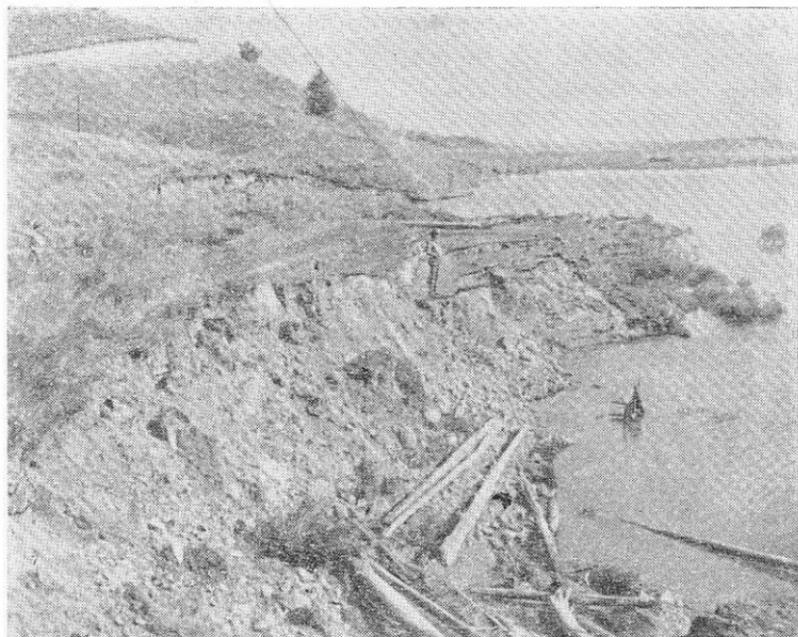
Землетрясение в Кансу (Китай, 1920 года) вызвало оползни почти на полтора километра на склоне холма у проселочной дороги.

Сползание грунта проходило так спокойно, что деревья по краям дороги продолжали стоять, как прежде, несмотря на столь необычное путешествие.

да, такое передвижение оказалось вполне возможным. Около 500 метров проселочной дороги сползло вниз по склону холма настолько спокойно, что росшие по краям дороги деревья совершенно не пострадали. Оказавшись на новом месте после такого необычного путешествия, они стояли, как и прежде, в один ряд — и это несмотря на впечатляющий разрыв дороги! К счастью, сохранились хорошие фотографии, подтверждающие, что все произошло именно так.

Столь уникальное явление объясняется тем, что этот необыкновенный оползень происходил на лёссовых почвах. Лёсс — это почва, которая в виде пыли в течение многих веков наносилась ветром. В нем легко происходят нарушения, хотя в то же время он обладает некоторыми особенностями (к их числу, например, относится способность лёсса образовывать крутые обрывы). Лёссовые формации встречаются и в США. Примером могут служить холмы вокруг Виксбурга, на берегу Миссисипи.

Рыхлые почвы и пески, обрушившись при оползнях



Все, что осталось от дороги на берегу озера Хебген, шт. Монтана, после землетрясения 1959 года.

в реки, образуют запруды с искусственными озерами, грозящими наводнением. Именно так и случилось во время гималайского землетрясения в 1950 году. Такое же бедствие последовало за катастрофой в Чили десять лет спустя. В августе 1959 года огромный оползень, вызванный землетрясением, перекрыл долину реки Мэдисон, шт. Монтана.

Рождение озера Квейк

В живописном ущелье, где постоянно останавливались туристы, чуть ниже озера Хебген обрушилась половина горы и со страшным грохотом упала в реку. Бесследно исчезло несколько человек, течение реки Мэдисон оказалось полностью перекрытым. Появилось новое озеро, которое вскоре получило название «Квейк». Воды его стремительно поднимались до уровня перемычки, высота которой достигла почти сорока метров.

Необходимо было принимать решительные меры. Если бы воды озера начали переливаться через перемычку, они вскоре размывали бы рыхлые массы пород. В естественных условиях именно так и происходит: скопившаяся вода мгновенно вытекает из озера. Но этот ужасный водяной вал вызвал бы катастрофическое наводнение в долине реки. В нескольких километрах ниже дамбы долина была густо населена — там находились фермы, города. Их необходимо было спасти.

На место происшествия срочно были вызваны инженеры, ведавшие гражданским строительством. Осмотрев пострадавший район, они пришли к следующему заключению: надо тотчас же сделать водослив поверх рыхлой плотины и укрепить ее до того, как через нее хлынут воды озера. Только такая крайняя мера может спасти города Варни, Эннис и Мак-Алистер. Опасности наводнения от вод озера Квейк подвергался даже городок Три-Форкс, расположенный примерно в 130 километрах вниз по течению реки.

Мужество и самоотверженный труд людей предупредили катастрофу. Бульдозеры, грузовики и тяжелое оборудование с величайшим трудом были доставлены по дорогам, не рассчитанным на прохождение такой техники, размытым и разрушенным, а то и просто по бездорожью. Отважным трудом на неустойчивой и ненадежной гряде насыпного материала люди все-таки подготовили путь воде поверх насыпи, убрали самые крупные валуны, вырыли и укрепили канал.

И когда озеро Квейк наполнилось, его воды спокойно потекли по водосливу и пересохшее русло реки Мэдисон вновь оживило. Это означало, что опасность миновала и поселкам в долине ничего больше не грозит. Но нужно помнить, что этот гигантский оползень все же привел к гибели людей, а под водами нового озера, вероятно, навеки скрылись живописнейшие места.

Реки на дне морей

Землетрясение в районе Гранд-Бэнкс в 1929 году было еще более сильным, но оно произошло на дне Атлантического океана, в его северной части. Сам толчок был достаточно сильным, в штатах Новой Англии покачнулись высокие здания, а некоторые жители Нью-Йорка

почувствовали сотрясение. Крупные волны достигли заливов близ Ньюфаундленда. Но самым существенным результатом землетрясения был обрыв трансатлантических кабелей. Телеграфные провода в прочной оплетке, лежащие на дне океана, оказались разорванными. Удалось даже зафиксировать точное время, когда каждый из них вышел из строя.

Ученые заинтересовались, почему обрывы произошли в разное время, а не сразу в момент землетрясения? В самом деле, некоторые кабели оказались разорванными на час и даже более позднее других. С чем связаны эти запоздалые явления?

Двум исследователям из Колумбийского университета — Морису Юингу и Брусу Хизену — после длительного анализа удалось объяснить причину. По их мнению, толчок землетрясения стронул с места пропитанные водой массы ила, нависшие карнизом по краям отмели Гранд-Бэнкс. Неплотные массы начали скользить вниз по склону вдоль расщелин в глубоководные участки. Взбаламученный ил проник в соседние воды, которые, став более тяжелыми от обилия илестых частиц, также начали двигаться вниз по склону. Вскоре эти мелкие ручейки слились в подводные реки.

Они увеличивались в размере и убыстряли свой бег во время спуска по подводному склону к океанским глубинам. По дороге они смывали осадки со дна и несли с собой огромные массы грязи. По мере увеличения скорости подводные реки стали увлекать за собой более плотные осадки, в том числе гальку и крупные обломки пород. К тому моменту, когда этот бушующий поток достиг дна Атлантического океана, сила его была столь велика, что ему ничего не стоило разорвать первый кабель, подобно тому как грузовик рвет натянутые нитки. Через некоторое время на несколько сот метров глубже был оборван второй кабель, затем еще один. Наконец, километрах в тридцати от того места, куда прорвался яростный поток, был поврежден последний кабель. Океанологи нашли обломки пород, вынесенных этими подводными реками, на сотнях километров вокруг в глубоководной части Атлантического океана, где наконец реки замедлили бег и «сбросили» свою необычную ношу.

После того как Юинг и Хизен сделали необходимые расчеты, основываясь на времени разрыва кабелей и рас-

стоянии между ними, и объявили о скорости движения подводной реки, многие ученые им не поверили. Ведь по расчетам скорость достигала 80 километров в час, т. е., вероятно, раз в десять превышала скорость рек, текущих на поверхности Земли! Но Юинг и Хизен сумели доказать, что энергия, необходимая для возникновения такой скорости, имела место и скорость действительно достигала 80 километров в час, по крайней мере на коротком отрезке пути.

Трещины в земле

Очень часто приходится слышать, что во время землетрясений со дна морей и океанов поднимаются новые острова. Много веков назад римский философ и историк Сенека писал о появлении новых островов в Эгейском море, но проверить его нам, разумеется, не удастся. Вполне возможно, что это не более как миф. Мы уже говорили о рождении острова в заливе Спондж после землетрясения 1931 года в Новой Зеландии. Такой случай действительно имел место, хотя чаще всего новые острова появляются в результате деятельности вулканов, а не землетрясений.

В мае 1960 года из Чили пришло сообщение, в котором говорилось, что земля поглотила деревья. Мне кажется, что эта история несколько грешит против истины, хотя вполне возможно, что образовавшиеся в почве трещины были достаточно широки, чтобы в них могли исчезнуть деревья. Весьма распространены также рассказы о людях, исчезнувших в трещинах; часть из них вполне достоверна, несмотря на то что многие склонны относиться к ним скептически.

История, приведенная Эйби, вряд ли особенно правдоподобна, но весьма любопытна. В ней говорится о том, как на дне реки Вайау (Новая Зеландия) открылась трещина и, поглотив огромное количество воды, с силой закрылась, вытолкнув обратно всю воду в виде фонтана высотой около сотни метров! Это, конечно, смешно, но несомненно, что в Земле достигается необычно большое давление. В Японии, например, однажды сваи старых пристаней под действием распространявшихся в земле волн с силой выскочили из грунта, как косточки из сжатого апельсина.

Есть люди, для которых наука о землетрясениях и их последствиях не более как объект для всяческих шуток. Мне приходилось сталкиваться с такими «остряками», которые при встрече с крупнейшими сейсмологами вопрошали: «Ну как, старина, большой урожай в этом году?» Я вспоминаю, что до катастрофы в Сан-Франциско в 1906 году деятели Торговой палаты в Калифорнии относились к землетрясениям весьма легкомысленно.

В те годы калифорнийцы нуждались в туристах и переселенцах. Они трудились, еще не зная страха перед землетрясениями. Как утверждал некий писатель с весьма богатым воображением, землетрясение — это «божественное» переживание! Ему, очевидно, не приходилось лично испытать на себе ни одного достаточно сильного землетрясения!

Если бы даже землетрясение и в самом деле представляло собой «волнующее переживание», Хол Ингл не захотел бы пережить его вторично. Хол Ингл — калифорнийский инженер, который в течение многих лет занимался исследованиями последствий землетрясений в интересах страховых компаний. Он находился на водонапорной башне, исследуя повреждения, причиненные несколько лет назад землетрясением в округе Керн, когда сильный афтершок встряхнул башню. Она зазвенела и зловеще затряслась, а Хол ухватился за поручни с такой силой, что еще немного — и он вдавил бы пальцы в металл. Очутившись наконец на земле в безопасности, он облегченно вздохнул и сказал: «Какое уж гут великолеpie! Мне хотелось стать птицей, чтобы скорей слететь оттуда!»

IX. ПОДВОДНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

... Дуй, ветер! Бей, прибой! Плыви,
корабль!

Поднялась буря, и всем правит
случай.

Шекспир

И нужно же было этому случиться 1 апреля 1946 года — в день первоапрельских шуток! Да, может быть, это и в самом деле был день для шуток, но шуток отвратительных!

В проливе Уникама, там, где кончается Аляска и цепь Алеутских островов длиной 1450 километров начинает изгибаться к западу, стоял маяк Скотч-Кэп, светясь в ночи и помогая судам миновать бурные воды и сильные течения из Тихого океана в Берингово море.

Свет горел в башне — в массивном бетонном блонгаузе, установленном на скалистом гребне, возвышавшемся на девять метров над водами Уникама. Маяк был почти новым и очень прочным.

1 апреля, около двух часов ночи, море, движимое какой-то непонятной силой, с яростью обрушилось на маяк Скотч-Кэп. Воды поглотили здание, мгновенно разрушив его; под грохот разбивающейся кладки оно исчезло в волнах.

Пятеро служителей маяка не успели даже почувствовать приближение смерти. С наступлением дня, когда маяк перестал отвечать на радиogramмы, береговая охрана выслала самолеты. И вскоре мир узнал о трагедии. Эфир звенел от сообщений о небывалых волнах, стремительно несшихся в северной части Тихого океана. Самолеты и корабли начали поиски, но они так и не смогли обнаружить этих волн.

В 1946 году многие сейсмологи фиксировали землетрясения по световым следам — линиям на лентах фотобумаги, которые затем проявлялись, после чего на них были отчетливо видны световые полосы, соответствующие конфигурации волн землетрясения. Как только в то

злосчастное утро американские сейсмологи проявили свои материалы, им тотчас бросились в глаза явные признаки нового землетрясения. Но радио не сообщало о крупном толчке: ведь землетрясение — явление обычное и многие из них не вызывают разрушений. Поэтому они решили, что землетрясение произошло под водой.

Но сейсмологи всегда стремятся узнать точное местоположение очагов крупных землетрясений, и они начали обмениваться имеющимися у них сведениями. Первое же определение нанесенного эпицентра не явилось для них неожиданностью. Эпицентр находился под трехкилометровой толщей воды, в глубоководном желобе, в 130 километрах к юго-востоку от маяка Скотч-Кэп на Аляске.

Волна достигает Гавайских островов

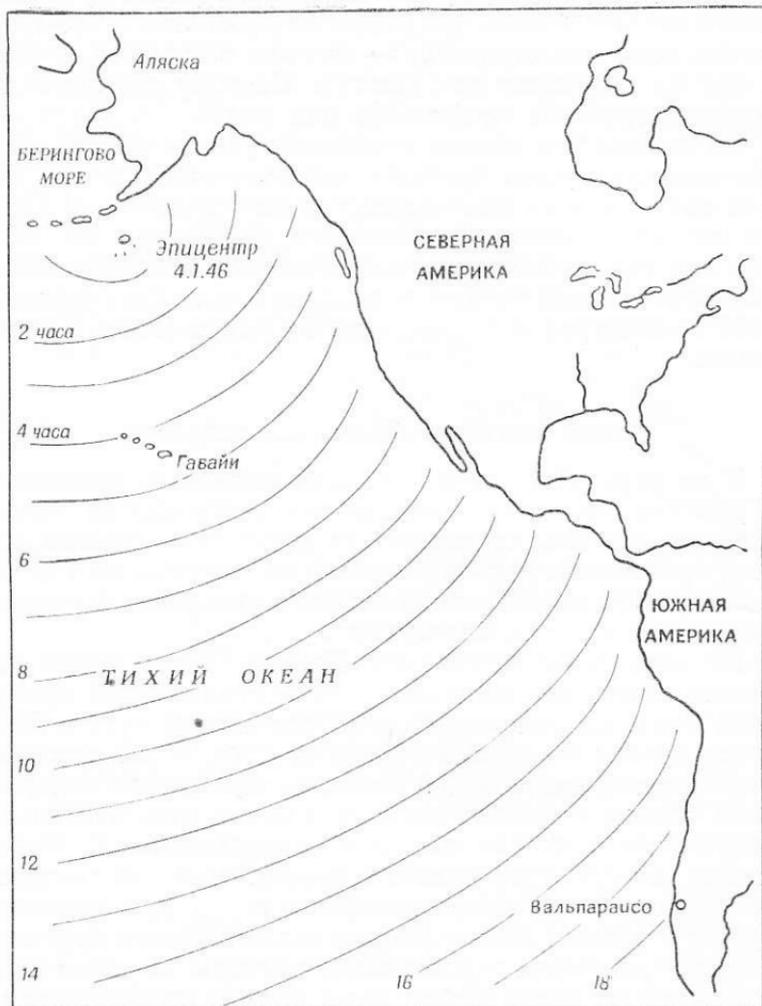
В то утро Паттерсон, правительственный сейсмолог в Гонолулу, ни о чем не подозревая, завтракал на террасе своего домика, стоявшего на побережье. Мысли его были приятными: как ему повезло со службой на Гавайях, где всегда великолепная погода и неумолчный шелест пальм, а воздух так благоухает...

Но пора поторапливаться. Приближалось время утреннего визита на сейсмологическую станцию для проявления лент, экспонированных за прошедшие сутки. Паттерсон бросил последний взгляд на море, чтобы еще раз полюбоваться сверкающей бликами водой, и не поверил своим глазам — вода исчезла, и морское дно, насколько хватало глаз, лежало голым и отвратительным! Пораженный, он бросился ближе к берегу, чтобы внимательнее посмотреть на открывавшуюся перед ним картину, как вдруг увидел линию высоко вздымавшихся бурунов, которые принимали угрожающие размеры на некотором расстоянии от него. Стена воды быстро приближалась!

Паттерсон едва успел броситься назад. Буквально на пятаях за ним следовала стена воды. С оглушительным грохотом она ударилась о пляж и затем накрыла дом.

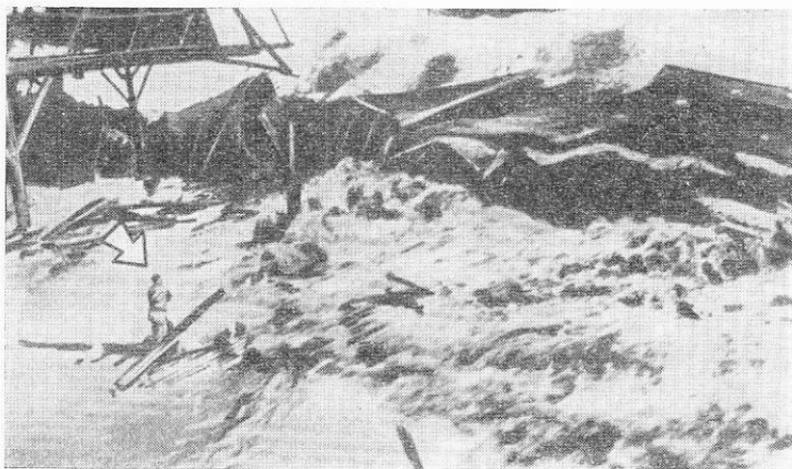
Последующие мгновения Паттерсон яростно сражался со стихией, пытаясь спасти обстановку и ценные вещи, которые он побросал на полки, куда вода не достигала.

Когда вода схлынула, он убедился, что жилище сильно разрушено. Но ему еще повезло — некоторые дома по-



Карта с кривыми распространения сильного цунами через восточную часть Тихого океана в апреле 1946 года.

Линии показывают положение фронта волны с часовыми интервалами после землетрясения на Аляске. Волны прошли расстояние до Чили, равное 13 тысячам километров, за 18 часов и иногда распространялись со скоростью свыше 1000 километров в час. Волна, достигшая Вальпараисо, имела высоту около 2 метров.



Драматический момент, вызванный морской волной, обрушившейся на город Хило (Гавайские острова, 1946 год).

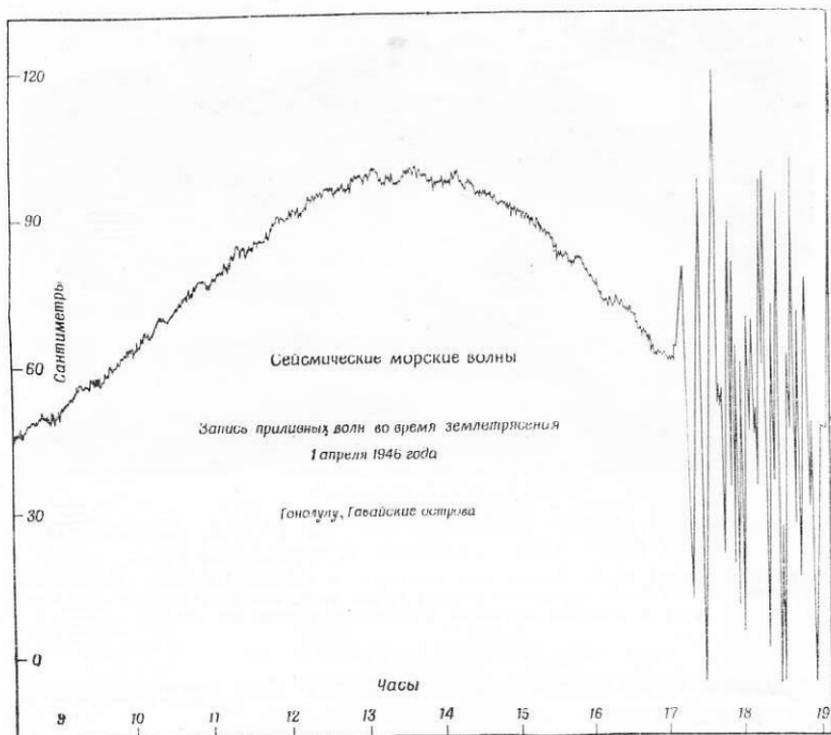
Огромная масса воды только что хлынула в склад. Человек, указанный стрелкой, погиб через несколько секунд после того, как этот снимок был сделан с палубы корабля, стоявшего рядом на якоре.

близости были вообще смыты водой или превращены в груды развалин.

Катастрофа разразилась на побережье многих Гавайских островов. Прибрежные дороги и мосты были размыты, дома разрушены и снесены водой. В некоторых местах разрушения были особенно страшными.

Жители города Хило на «большом острове» Гавайи вначале не заметили подъема воды в своей бухте. Все было тихо и мирно. Да и что могло случиться?

Они не знали, а может быть, и просто не задумывались над тем, что за несколько часов до этого в заливе Аляска, в 3800 километрах к северу, произошло землетрясение, которое вызвало резкий подъем морского дна. Но некоторым горожанам все-таки бросилось в глаза, что вода отошла от гавани, оголив безобразные илистые отмели и рифы, которых ранее здесь никто не видел. Эта картина доставила огромное удовольствие ребятишкам, которые побежали поближе к воде, чтобы посмотреть, как бьется рыба на отмели, и полюбоваться невиданными морскими животными. Даже если бы кричащие от восторга дети заметили огромную волну, приближавшуюся



На мареограмме видна запись огромной волны и внезапного изменения уровня моря, вызванного цунами в Гонолулу в 1946 году. Плавная кривая соответствует приливу, а небольшие зубчики на ней изображают обычные волны. Огромные пики справа соответствуют наступлению цунами.

к ним, они все равно не успели бы спастись. С грозным ревом волна пронеслась по ним, разбивая в щепки набережную и ломая цементные стены на берегу. Затем она ворвалась в город. Через несколько секунд весь деловой район Хило превратился в руины. От железнодорожных вагонов, автомобилей и грузовиков, сетей, кораблей осталась бесформенная гряда обломков.

По мере того как вода отступала назад, она уносила за собой целые дома, месиво из обломков и сахара стоимостью в 750 тысяч долларов.

Этот и последующий огромные валы в течение нескольких часов нанесли острову ущерб, исчисляемый в 25 миллионов долларов! Это была самая крупная раз-

рушительная волна в истории Гавайских островов. Такую шутку сыграла с ними природа 1 апреля 1946 года.

Оставшиеся в живых жители Хило приступили к расчистке обломков, под которыми погибло 173 человека — их родные и близкие. Они скорбно вопрошали: почему же никто не предупредил их об этой ужасной волне, рожденной подводным землетрясением?

Знаменитый вулканолог Джаггер, долгие годы изучавший кратер вулкана Килауэа на Гавайских островах вблизи Хило, задолго до катастрофы неоднократно пытался предупреждать жителей о грядущей беде. У него был сейсмограф, и он иногда заблаговременно узнавал об отдаленных подводных землетрясениях, но, к сожалению, не мог с определенностью утверждать, придет морская волна или нет. Не удивительно, что местное население почти не прислушивалось к его маловразумительным предупреждениям. Конечно, горожанам следовало бы вооружиться современными приборами и системой взаимосвязанных станций, чтобы иметь надежную систему оповещения. Но даже этого, пожалуй, было бы недостаточно, так как люди склонны быстро забывать редко происходящие события. Поэтому когда в 1960 году на Хило вновь обрушилась огромная волна, несмотря на своевременные предупреждения, погибло много людей.

В Японии такие сейсмические морские волны называют «цунами». Ученые приняли это название, так как его значение является точным и определенным. Цунами, как и многие другие виды морских волнений, ошибочно называют приливной волной. Но это неправильно — оно не имеет ничего общего с приливом.

Приливной также ошибочно называют волну, заливающую побережье в результате разыгравшегося шторма. Сильные ветры гонят воду перед собой и образуют водяной вал, который с силой обрушивается на берег. В центральной части тайфуна из-за низкого давления воздуха вода также нередко поднимается вверх. Центры тропических ураганов с очень низким давлением окружены вихревыми потоками воздуха. Такого рода ураган в 1900 году вызвал катастрофическое наводнение в Галвестоне, шт. Техас, во время которого погибло 5 тысяч жителей. После этих трагических событий в городе была построена огромная морская дамба для защиты от наводнений. В 1938 году ураган, начавшийся далеко на севере, достиг

района Новой Англии, вздымая морскую воду на высоту 10—12 метров и гоня ее перед собой. Разрушению подверглись большие территории на побережье Лонг-Айленда и в устье реки Коннектикут. Но все это не были настоящие цунами.

Очевидно, на земном шаре ежегодно происходит только одно настоящее сильное цунами. Хек в своем списке известных цунами насчитывает 270 случаев, которые в основном отмечены за последние 200 лет. К самым ранним из известных нам, по мнению Хека, относится цунами у берегов Потидэа (Греция), которое произошло в 479 году до н. э. Цунами отмечаются во многих частях света. Разрушительную силу этого явления испытывали на себе Япония, Чили и Греция. В 1724 году в Каллао (Перу) от волн высотой до 25 метров погибли 24 корабля. В 1293 году в Японии от цунами погибло 30 тысяч человек; та же участь постигла Италию в 1783 году.

Самые известные цунами

Вероятно, наиболее сильное из известных нам цунами произошло от подводного землетрясения в 240 километрах от берегов Японии 15 июня 1896 года. Японцы назвали его Санрику, так как оно обрушилось на три провинции, а по-японски «сан» означает «три», «рику» — земля.

Это случилось ранним вечером; люди наслаждались приятной погодой на побережье. Они едва ли заметили первую небольшую волну, которая вызвала легкое волнение, поэтому огромная волна, обрушившаяся на них и достигавшая, как утверждают, 30 метров в высоту, была для них полнейшей неожиданностью. В итоге — 27 122 жертвы и 10 617 смытых в море домов.

Вероятно, самой крупной сейсмической волной, насколько можно судить по достоверным источникам, была волна, обрушившаяся на берег Камчатки у мыса Лопатка в 1737 году — она достигала чуть ли не 70 метров¹. К счастью, в тот момент берег был малолюдным.

Взрыв вулкана Кракатуа в Восточной Индии в 1887 году породил волны, которые с огромной скоростью ринулись через пролив Сунда и смыли с побережья Явы и

¹ Это цунами описано русским ученым С. П. Крашенинниковым, который как раз в то время обследовал Камчатку.— *Прим. ред.*

Суматры 36 500 ничего не подозревавших жителей. Правда, это была не настоящая сейсмическая морская волна, так как она не была порождена землетрясением.

Цунами, вызванное знаменитым лиссабонским землетрясением, несмотря на свою разрушительную силу, в пределах самого города достигло высоты всего лишь 2,5 метра. Но, как утверждают, к югу, на противоположном берегу реки, оно достигло высоты 10 метров. В 1868 году на Гавайских островах волна перекатывалась через верхушки пальм. В других случаях волна ломала дамбы и разбрасывала огромные кирпичные блоки, точно гальку. В порту Корраль (Чили) в 1960 году волна, ударившая о берег, перебросила корабль водоизмещением 11 тысяч тонн из гавани через город в открытое море.

В 1868 году потерпел крушение американский монитор «Уотери» — он был выброшен волной на расстояние в полкилометра вблизи города Арика, на побережье Чили. По расчетам, волна превышала 20 метров.

Но что же мы знаем о цунами? В прошлом о них было известно, и это совершенно естественно, лишь то, что они, очевидно, вызываются подводными землетрясениями. Но даже в этом до последнего времени не было полной уверенности. Ведь многие подводные землетрясения остаются незамеченными, так как они происходят на покрытом океанами пространстве, составляющем $\frac{4}{5}$ земной поверхности. Более того, лишь немногие из подводных землетрясений действительно вызывают цунами. И в этом заключалась ошибка Джаггера, который хоть и предсказывал гаитянам землетрясения, но не знал, которого же из них следует опасаться.

Как начинается цунами

До недавнего времени многие ученые полагали, что причиной образования цунами могут служить подводные оползни, водные или грязевые потоки, такие, например, как быстрое подводное течение от отмели Гранд-Бэнкс. Энергия землетрясения в Гранд-Бэнкс, по-видимому, была достаточной, чтобы вызвать волны такой силы. И все-таки она, вероятно, не достигала нужного предела. Кроме того, не ясно, каким образом энергия землетрясения может быть преобразована в энергию волн. Все эти вопросы нуждаются в точных ответах.

Местонахождение зон разломов под водой нам достаточно хорошо известно. Действительно, некоторые из них приводят к вертикальным смещениям земной коры. Внезапный подъем крупных участков дна океана вызывает поднятие воды выше ее обычного уровня. Земной коре приходится выдерживать огромную нагрузку по поднятию такого колоссального количества воды. При этом энергия самой воды столь велика, что она вновь возвращается к своему прежнему уровню. К аналогичному результату может привести также и опускание морского дна.

Мы видим, что масса перемещаемой воды вызывает появление поверхностных волн по всему океану, подобно ряби, распространяющейся во все стороны от брошенного в воду камня. Но как же отличаются эти волны от ряби! Ведь в этом случае перемещаются миллиарды тонн воды. Такая «рябь» является поистине гигантской.

Волны следуют друг за другом с интервалом в 10 минут или более — чтобы переместить огромные массы воды, нужно некоторое время. Они распространяются со скоростью реактивного самолета. В более глубоких местах Тихого океана их скорость может достигать 1000 километров в час. Волны, передвигающиеся с такой скоростью и разделенные таким большим промежутком времени, удалены друг от друга на большие расстояния — иногда на сотни и даже тысячи километров. Следовательно, каждая волна представляет собой водяной бугор до полутора метров высотой (очевидно, не превышающий то поднятие дна, которое их вызвало) и протяженностью во много десятков километров.

Ни с корабля, ни с самолета эти бугры не видны, и люди не подозревают о цунами, проходящем под ними. Цунами для них так же невидимо, как и прилив.

В некоторых отношениях цунами похожи на приливные волны. Как те, так и другие представляют собой не что иное, как гигантские пологие вспучивания водной поверхности, с огромной скоростью незаметно распространяющиеся по поверхности океана. Приливы, подобно цунами, также долгое время не были изучены. Древние китайцы, обладавшие большим воображением при объяснении неизвестных явлений, считали, что вода океанов — это кровь Земли, а прилив — ее пульс! Они называли это дыханием Земли. Сейчас, когда ясен характер таких волн, мы можем цунами сравнить с этим дыханием.

Кроме того, как цунами, так и приливы вызывают катастрофические разрушения. В реках Янцзы в Китае и Птикодиак в Восточной Канаде наблюдаются необычайно высокие приливы. В их устья устремляются большие массы океанской воды, которые сдерживаются силой течения реки до тех пор, пока не образуется волна. Эта волна движется вверх по течению в виде пенистого вала. Чтобы полюбоваться приливным валом в Птикодиаке, туристы приезжают издалека. Цунами же при приближении к береговой линии иногда образует стену воды, напоминающую этот вал.

Как далеко распространяется цунами

Скорость волны при передвижении по океану зависит от его глубины. Зная глубину океана по всей его акватории, мы могли бы рассчитать время достижения волной какого-либо отдаленного места, но мы этого не знаем. До сих пор имеются районы океана, которые практически не исследованы. И все же скорость передвижения крупной волны можно предсказать с довольно большой точностью.

Все цунами, достигавшие Гавайских островов, со времени катастрофы в Хило предсказывались с точностью до нескольких минут. Если же какая-нибудь волна все-таки достигает побережья раньше предсказанного времени, то океанографы находят этому простое объяснение: по их словам, волны нашли более глубокие места и лучшие пути, чем те, которые нам известны!

Колоссальная энергия цунами гонит его на огромное расстояние. В 1946 году цунами от пролива Унимак, разрушившее маяк Скотч-Кэп и город Хило, докатилось до Вальпараисо (Чили) за 18 часов. Пройдя расстояние в 13 тысяч километров, волна достигла берегов, имея высоту 1,5 метра, за ней последовали более мелкие волны; прошло немало времени, прежде чем море успокоилось.

Землетрясение вблизи Вальпараисо в 1906 году обрушило цунами высотой в 4 метра в залив Маалаза на Гавайских островах, где гигантские волны сорвали с якоря корабль. Несколькими часами позже цунами достигло берегов Японии и там продолжило свою разрушительную деятельность. Несколько ранее цунами высотой в 2,5 метра, возникшее вблизи Икике (Чили), достигло Хакодате

(Япония), унеся по пути тысячи местных жителей с островов Фиджи.

Цунами, подобно приливам, «пульсирует» в пределах океана. Иногда оно отражается от побережья. В Ханасаки (Япония) была зарегистрирована волна от землетрясения, которое произошло на Аляске в 1946 году, вероятно, отразившаяся от североамериканского континента. Волна, позже достигшая Гонолулу, отразилась от подводного прибрежного склона вблизи берегов Азии. Как утверждают, цунами может путешествовать взад и вперед между побережьями Тихого океана в течение целой недели.

Настоящая волна

Когда цунами мчится по океану, высота волн достигает всего лишь нескольких метров. Невольно возникает вопрос: почему же при приближении к суше она вырастает до таких ужасающих размеров? Это объясняется колоссальной энергией цунами, которая и сообщает ему огромную скорость и создает волны такой высоты. Особенность таких длинных волн состоит в том, что, обладая огромной скоростью в глубоких водах, они замедляют свой бег на мелководье. Скорость волн, приближающихся к побережью, уменьшается, поэтому энергия их идет на увеличение высоты. Волна растет все выше и выше, она как бы «спотыкается» о мелководье, при этом основание волны задерживается и создается нечто вроде водяной стены.

Аналогичное явление можно наблюдать при легком колыпании моря. При приближении к отмели волна, сначала почти незаметная, с силой обрушивается на песок — захватывающее для пловцов зрелище (но иногда полностью исключаящее купание)! Тот, кому довелось кататься на досках в волнах на Гавайских пляжах, не откажется это подтвердить.

Влияние прибрежной отмели на цунами наблюдал Уолтер Мунк, сотрудник Океанографического института Скриппса в Калифорнии, который назвал его эффектом «органной трубы». Подобно трубе, усиливающей звук до тех пор, пока он не заполнит собой большой кафедральный собор, мелководье усиливает волну цунами до тех пор, пока она не станет разрушительной.

Необходимо также учитывать характер пульсации воды в заливах. В замкнутых бассейнах существует естественный, собственный период пульсации, зависящий от размера и формы самого замкнутого пространства. Это явление, получившее название *сейши*, затрудняет изучение приливов и отливов, ибо оно усложняет картину волновых возмущений. Сейши создают дополнительный эффект, нередко способствуя увеличению волн до значительных размеров, например, в заливах, подобных Хило, где цунами наносят особо тяжелый ущерб. Сейши могут быть вызваны ветрами, приливами или же самим цунами. Для того чтобы оценить опасность волн, необходимо разгадать эффект сейш.

Цунами свирепствуют в определенных местах, и, вероятно, одним из таких мест и явилось Хило.

Для города Хило весьма неблагоприятен характер прибрежной отмели и береговой линии, а гавань является замкнутым бассейном с естественной пульсацией, которая очень заметно усиливается волной цунами. Вода в заливе резонирует, подобно воздуху в органной трубе, и растет все выше.

Сейчас инженеры заняты разработкой конструкции волноломов или дамб, которые смогли бы уменьшить или изменить период сейш в гавани Хило и отразить атаки будущих цунами. Бесспорно, имея средства и располагая достаточным временем, они одержат победу.

Как же предупредить цунами?

После трагедии 1946 года жители Хило задавали вопрос, почему никто не предупредил их о надвигающейся катастрофе? Сотрудники береговой и геодезической службы, и особенно Паттерсона, упрекали за то, что они своевременно не предупредили население. Ведь все знали, что это цунами было вызвано землетрясением. В Гонолулу имелась сейсмостанция. По мнению критиков, стоило только сопоставить эти два факта, чтобы увидеть ошибку Паттерсона. Как же несправедливы люди, да еще во гневе! Сопоставление двух фактов не всегда приводит к истине. И Паттерсон приложил немало усилий, убеждая людей в том, что запись подземных толчков была зафиксирована на фотобумаге, которую можно было про-

явить только к 8 часам утра. Быстро получить необходимую информацию от других станций, находившихся на расстоянии нескольких тысяч километров, было невозможно. Не было и Джаггера, который лучше всех разбирался в вопросе происхождения цунами.

А нужда в этом была крайняя, и ученые из состава специальной правительственной службы приступили к работе. Прежде всего нужно было разработать такой электронный прибор, который позволял бы сейсмологам в любой момент видеть на ленте самописца, что происходит на Земле. Самописцы в свою очередь нужно было подсоединить к электрической следящей системе, которая бы могла включать световую и звуковую сигнализацию в момент записи землетрясения на станции. С помощью сигнализации сейсмологов даже среди ночи можно было бы вызвать к приборам, и они приняли бы необходимые меры.

Сейсмологические станции в Фэрбенксе и Ситке на Аляске, а также в Тэксоне, шт. Аризона, были оборудованы новыми приборами. Им также обещали оказать помощь сейсмостанции, находящиеся в подчинении университетов Калифорнии.

В дальнейшем была создана сеть радиостанций, которая имела преимущественные права эфира для передачи сообщений о землетрясениях. На операторов, наблюдавших за приливной волной на специальных станциях, расположенных вдоль берега и входивших в подчинение береговой и геодезической службы, была возложена обязанность осуществлять самое пристальное наблюдение за появлением необычных волн в океане и вовремя сообщать о возникновении цунами. Предполагалось, что вся система оповещения вступит в строй к исходу 1948 года.

В Тихом океане время от времени происходили подводные землетрясения. Сейсмологи, оповещенные об этом сигнализацией, просматривали сейсмограммы и сообщали сведения на центральную станцию в Гонолулу, которая была специально подготовлена для выполнения этой задачи. Паттерсон там больше не работал. Сотрудники, занявшие его место, очень серьезно относились к своим обязанностям, ибо боялись ошибиться при оповещениях о землетрясениях и цунами — ведь от их ошибки зависела жизнь населения! Один из них полушутя как-то заявил,

что ни ему, ни его товарищам не хотелось бы повторять ошибки такого рода — они были бы первыми ответственными чиновниками, линчеванными на Гавайях!

Как только удавалось зафиксировать землетрясение и нанести на карту его эпицентр, на океанологическую станцию, находившуюся вблизи очага землетрясения, посылался запрос. В запросе обязательно спрашивали о возникновении цунами. В случае положительного ответа время приближения цунами к Гавайским островам рассчитывалось при помощи специальных карт. Карты составляли океанографы, работавшие в составе береговой и геодзической службы. Задача была не из легких, так как скорость цунами зависела от глубин океана, которые все еще не были точно известны во всех его точках. Однако делалось все возможное, чтобы решить эту важнейшую проблему. В конце концов специалисты добились своего — карта распространения цунами полностью стала отвечать своему назначению.

На протяжении нескольких лет, когда применялась эта методика, в ряде случаев цунами предсказывали довольно точно. Предупреждения о грозной волне посылались военным и гражданским властям по всем островам, а уж они обязаны были оповестить о них местное население.

Некоторые цунами наносили материальный ущерб, но никто из жителей не погиб от беснующихся волн. Остальные же цунами были слишком слабыми. Так как они всегда появлялись в пределах нескольких минут по отношению к расчетному времени, было ясно, что карты оправдали свое назначение.

Но вот 22 мая 1960 года вблизи Вальдивии, Чили, произошло крупнейшее подводное землетрясение. Подобно многим другим до него, это землетрясение вызвало цунами в океане, поблизости от побережья Чили. Районы, примыкающие к береговой линии Чили, сильно пострадали от волн, достигавших 9 метров высоты. Эти гигантские волны были порождены разломами, вздыбившими морское дно в конвульсивных встряшках. Они унесли сотни жизней, прежде чем отступили на запад через Тихий океан.

Система оповещения немедленно вступила в действие. Станции фиксировали сигналы тревоги, расшифровывали сейсмограммы и пересылали срочные сообщения в Го-

нолулу. Служба радиооповещения объявила о разрушительных волнах из Чили. Местные власти, получив предупреждение от правительственных организаций, приняли все меры, какие были в их силах. Во всех прибрежных городах пронзительно завывли сирены, радио громко подавало тревожные сигналы. Полиция патрулировала улицы Хило, предупреждая население о необходимости эвакуации. Предсказывалось, что волна прибудет в полночь. Казалось, все было готово.

В «Бюллетене Американского сейсмологического общества» был опубликован доклад о катастрофе в Хило, который иллюстрировался графическими материалами. Доклад был подготовлен Джерри Итоном (сотрудником геологического отделения вулканологической обсерватории на Килауэа, где некогда работал Джаггер), сотрудниками этой же обсерватории, а также работниками Национального парка на Гавайях.

После согласования действий с местной полицией они проехали через заблокированные и покинутые жителями улицы, примыкающие к побережью, к удобной для наблюдения точке на северном конце моста Вайлуку. Там им предоставлялось отличное поле обозрения всего происходящего. Опасаться было нечего — стоило только пробежать несколько шагов вдоль шоссе, и они могли укрыться на возвышенности!

Вскоре после полуночи вода поднялась примерно на 1,5 метра, а затем спала на метр ниже нормального уровня. Потом она вновь прибыла, на этот раз заливая улицы, прилегающие к побережью, и вновь отступила.

Обнажились подводные камни, всегда ранее покрытые водой. Стояла странная тишина. Было несколько минут второго, когда третья, самая сильная волна ударила о берег.

Приводим выдержки из доклада:

«Сначала был слышен звук, напоминающий грохот товарного поезда вдалеке, который как бы приближался к слушателям из темноты. Звук надвигался, и вскоре все услышали оглушительный рев и увидели светлую стену бешено крутящейся воды. Это был изломанный гребень третьей волны. Он был виден в слабом свете...

В 1 час 04 минуты ночи почти вертикальная стена вспенившейся приливной волны высотой до семи метров пронеслась мимо нашего укрытия; мы вынуждены были

пробежать несколько сот метров по направлению к более безопасному месту. Обернувшись, мы увидели реку воды, вливающуюся в устье.

Верхняя часть приближающегося потока, ударившись об укрепленную стальной сеткой проезжую часть дороги на южной половине моста, извергла высоко в воздух гигантский фонтан воды. Несколькими секундами позже голубые электрические вспышки просигнализировали о том, что волна миновала дамбу и с ужасной силой ворвалась в город... Отовсюду слышался глухой скрежет рушащихся зданий, сопровождаемый всплесками волн и резкими, сильными ударами от падающих столбов электропередачи. Весь этот адский шум доносился из затопленного города, погруженного в темноту. Волна достигла электростанции... Короткая зеленоватая вспышка, осветившая небо над электростанцией, и Хило вместе с большей частью острова Гавайи погрузился во мрак».

Вторично за свою историю Хило испытал ужасающий удар! Но на этот раз предупреждение было получено задолго до катастрофы, и все же многие неосторожные жители стали жертвами волн! Погиб 61 человек. Вначале часть гаитян устремилась на возвышенные места, но, устав от ожидания, вновь вернулась в город. Они заявили, что, дескать, предупреждения бывали и раньше, но ничего не случалось, их только зря побеспокоили. Часть жителей осталась в городе из желания испытать острые ощущения. И вот теперь их изуродованные тела лежали под обломками строений.

Почему же это все-таки случилось? Очевидно, в этом повинна система информации населения. По-видимому, люди не отдавали себе отчета в том, что цунами, крупные или мелкие, следует принимать всерьез. Для этого требовалось нечто большее. Разъяснения? Да! Люди должны больше знать, когда им угрожает реальная опасность! Многие жители жаловались, что их никто не предупредил о третьей волне.

Цунами не изучено до конца

Основная трудность заключалась в том, что никто не знал, как это предсказать. Что касается возникновения цунами и времени его удара, то система оповещения была достаточно надежной. Но она не смогла предугадать

силу цунами. Сообщения о средних величинах волн на других тихоокеанских островах, лежащих на пути этого цунами, почти ничего не давали, ибо для каждого конкретного места волны имели свои особенности и высоту.

В настоящее время ведутся самые энергичные поиски метода, позволяющего предсказать последствия цунами, а это проблема сложная. Ведь никто не знает возможной высоты образующейся при землетрясении волны. Мы должны научиться предсказывать высоту поднятия морского дна, которое вызывает морскую волну. Мы должны знать, насколько высоким будет цунами в момент его перемещения по океану и какое оно дает отличие на записях сейсмографов. Мы должны научиться предсказывать его последствия как в Хило, так и в любом другом месте. Задача со многими неизвестными!

Этой проблемой занимается правительство США, а также Геофизический институт при Гавайском университете и океанографические институты в Калифорнии и других местах. Отдельным исследовательским лабораториям и ученым удалось проделать довольно успешную работу. Все они надеются, что настанет день, когда сейсмолог, прочитав сейсмограмму, сможет с уверенностью сказать, какого рода дислокация морского дна имела место и какого размера цунами она должна вызвать, а также где его следует ожидать и с какими последствиями. На это надеется и население Хило. Пока же никто не знает, когда будет следующее цунами. Но когда оно произойдет, сотрудники сейсмостанций в Гонолулу и системы оповещения будут знать час, когда оно обрушится на берег. Они надеются, что ведущиеся исследования помогут им вовремя предупредить население о размерах грозящей опасности.

Х. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ЗАЛИВ

Ужасные тени невидимой силы
Витают скрыто среди нас!

Шелли

«Земля разверзлась!» — так утверждали очевидцы по поводу сильного сотрясения 9 июля 1958 года, которое произошло поздно вечером в горном районе Фэрвезер на юго-востоке Аляски. Это было очередное землетрясение из серии ему подобных. Такие землетрясения характерны для этого района: здесь в течение многих веков суша поднимается и за столетие горы вырастают на метр и более.

Это было четвертое крупнейшее землетрясение на американском континенте. Но одна из его отличительных черт, вероятно, никогда больше не повторится, ибо это было не только землетрясение или вздрагивание земли; оно также вызвало страшные оползни и самую высокую морскую волну, которая когда-либо отмечалась океанографами.

Катастрофа произошла в заливе Литуйя¹, единственной укрытой якорной стоянке на длинном и суровом побережье Аляски между мысом Спенсер и заливом Якутат. Бурное море и скалистые берега делали залив Литуйя желанным местом для якорной стоянки редких рыбачьих судов. Рыбаки отваживались заходить в залив, несмотря на дурную славу места и опасности, подстерегавшие их здесь, впрочем, этого никак нельзя было сказать, глядя на величавую красоту этого уголка земли.

Залив вдается в глубь суши более чем на 11 километров, омывая гряду холмов, покрытых хвойными лесами, а его дальний конец вплотную подходит к подножию высоких гор Фэрвезер. В летнее время берега Литуйи усыпаны земляникой. В воде плавают сотни маленьких айс-

¹ Может быть «Лютая»? Многие названия на Аляске русские.—
Прим. ред.

бергов, которые моряки используют для хранения продуктов. В южном конце этого фиорда, подобно башне, возвышается стенка ледника Крийон. В центре залива из темных вод выглядывает маленький, покрытый лесом остров.

Для того чтобы понять, что же произошло в заливе Литуйя, следует ясно представлять себе особенности его рельефа.

В дальнем конце залива, словно стражи, возвышаются две горы. Воды залива, омывая их, соединяются с внутренним заливом, похожим на согнутую в локте руку. В его северной части находится ледник Литуйя — один из «виновников» буйства Литуйи. Время от времени глыбы льда с громкими всплесками, порождающими эхо в скалах, падают в воду. Обычно там царит глубокая тишина, изредка нарушаемая криками чаек да плещущейся о скалистые берега водой. Высокие горы Фэрвезер со снежными пиками, почти на 4500 метров поднимающимися в суровое небо Аляски,— все это являет собой захватывающее зрелище. Те редкие мореходы, которые попадают в этот край, сравнивают его торжественность и тишину естественного амфитеатра с величественным собором.

Залив Литуйя был открыт в 1786 году знаменитым французским путешественником Лаперузом (Жаном Франсуа де Галопом). Во время путешествия в поисках новых географических открытий там бросили якорь два его корабля, и он с облегчением вздохнул, ибо проход сквозь устье залива был сопряжен с большими трудностями. Кусок суши, который Лаперуз назвал «Шоссе» из-за его сходства с дорогой, расположен поперек устья залива и оставляет лишь узкий канал между скалами. Через этот канал с каждым приливом и отливом проходит вода. Скорость ее течения очень велика. Из-за чрезвычайно бурного и опасного для кораблей нрава залива моряки заходят туда только при самой низкой воде в период между приливами.

Волны Литуйи

Но Лаперуз не знал всего этого. Его корабли были засосаны наступившим приливом и, бешено крутясь, прошли между скал, совершенно не подчиняясь рулю. В своем дневнике Лаперуз записал, что корабли были на волосок от гибели.

Когда они наконец очутились в безопасности, он спустил лодки и послал моряков снять карту залива. Среди прочих деталей на карте Лаперуза были указаны две индейские деревни на берегу — теперь там пустое место. Как гласит индейская легенда, правда не подтвержденная, деревни были смыты с лица земли огромной волной. Некоторые мужчины спаслись лишь потому, что находились в море, охотясь в своих каноэ на морских бобров.

Лаперуз был поражен, когда в канале, ведущем в открытое море, погибли две его лодки с людьми, опрокинутые яростно мчавшейся водой. В их память на вершине небольшого островка он воздвиг монумент. Сейчас этот островок известен под названием острова Кенотафия.

В 1935 году на этом острове жили рыбак Джим Хускрофт и его компаньон, которые занимались засолкой лосося. Они жили в хижине, расположенной среди деревьев, в 15 метрах над уровнем воды.

Однажды к ним в залив с гулом, напоминавшим рев двигателей целой воздушной флотилии, ворвалась волна. Рыбаки вскарабкались на самое высокое место острова и только благодаря этому спаслись, но волна унесла улов целого сезона. В глубоком унынии они покинули остров, и несколько лет спустя бедняга Джим умер в Джуно. С тех пор в заливе Литуйя никто не жил, но старой хижине было предначертано стоять до 1958 года, когда она была разрушена еще более высокой волной.

Несмотря на то что Литуйя была необитаема, она всегда привлекала к себе внимание. Несколько лет назад Дон Миллер, сотрудник Геологической службы США, обратил внимание на необычайную разницу в возрасте деревьев на склонах холмов, окружающих залив. Повсюду ниже определенной линии это была молодая поросль, насколько можно было судить по годовым кольцам. Все эти деревья начали расти в 1936 году, т. е. тогда, когда на хижину Хускрофта обрушилась волна. Выше они были значительно старше. Это позволило Миллеру сделать вывод, что огромная волна начисто смыла растительность по берегам. Продолжая исследования, он обнаружил еще одну линию, отделяющую деревья столетнего возраста от еще более древних, растущих выше. Миллер припомнил старинную легенду об огромной волне, смывшей поселения, а также старую карту, на которой было указано местонахождение индейских деревень. Сопоставив фак-

ты, он с уверенностью заявил, что знает, когда эти деревни исчезли. По годовым кольцам деревьев это должно было случиться зимой 1853/54 года.

Миллер назвал эти линии между деревьями линией обреза, или раздела. Он проследил их по склонам холмов и, к своему удивлению, обнаружил, что в некоторых местах они находились на высоте в несколько сот метров над заливом. Научный доклад о своем открытии он представил на заседание Американского геологического общества. Многие члены общества, выслушав сообщение Миллера о высоте волн, достигающих нескольких сот метров, отнеслись к этому с большим недоверием, и в течение долгого времени существование этих линий подвергалось сомнению. Однако Миллер не был обескуражен. Он настойчиво продолжал исследования, и ему удалось обнаружить свидетельства и других линий. Тогда он уже твердо уверовал, что в истории залива Литуйя на протяжении последних 100 лет были по крайней мере четыре крупные волны.

Человеческая память коротка. Хотя рыбаки прекрасно знали об опасностях, подстерегающих их при входе в залив Литуйя, и о коварстве подводных скал, древняя легенда о гигантских волнах вскоре была предана забвению. Да и не так-то уж они часты. И рыбаки продолжали заходить в Литуйю.

9 июля 1958 года

Вечером 9 июля в заливе Литуйя на якоре стояли три бота. Люди, находившиеся на их борту, спали. Как и жители юго-восточной Аляски, они не подозревали об огромнейших силах, оживших на глубине 16 километров к востоку, под возвышающимися, словно башни, горами.

Не знали об этом и десять канадских альпинистов, которые только что вернулись после восхождения на гору Фэрвезер на границе между Аляской и Канадой — высочайшую точку провинции Британская Колумбия. Вначале они хотели было провести ночь на берегу Литуйи, но пилот был обеспокоен состоянием погоды, и они вылетели в Джуно за два часа до последовавших событий. Для них это была счастливая случайность, которая имела место только благодаря осторожности пилота, ибо по года по-прежнему оставалась отличной!

В нескольких километрах к югу от берега озера Крийон находилась группа геологов из 16 человек во главе с Вирджилом Манном. На следующее утро они готовились перебросить свой лагерь и перебазироваться на остров Кенотафия, где намеревались поселиться в старой хижине Хускрофта. Несколько человек из Якутата, в сотнях километров севернее Литуйи, спокойно собирали землянику на острове Кантаак в заливе Якутат. Это было неподалеку от того места, где в 1899 году произошло сильное землетрясение, вызвавшее поднятие суши почти на 15 метров из глубины моря в результате одного-единственного толчка. Но они об этом и не думали. Они твердо намеревались вернуться домой, наполнив корзины душистыми красными ягодами. Ведь дело близилось к вечеру.

Этот момент и улучила природа. Породы, находившиеся под горой Фэрвезер, не выдержав напряжения, раскололись. Накопленная колоссальная упругая энергия, подобно растянутой резине, мгновенно была высвобождена.

И произошло землетрясение

Пики гор вздрогнули, покрылись снежной пылью и стяхнули с себя огромные массы снега в виде лавин, которые начали свой стремительный бег по направлению к заливу Литуйя. Высокогорные районы и ледниковые долины на протяжении 240 километров заколыхались, подобно волнам, бегущим по земле. Прибрежные отмели вздрогнули, и из-под земли, нагромождая груды песка, вырвались 6-метровые гейзеры. На поверхности Земли появились огромные трещины. Одна из них была столь велика, что поглотила грузовик, стоявший неподалеку от домика на реке Акве, к северу от Литуйи. Побережье, на котором в ожидании лодки находились злосчастные сборщики земляники, казалось, подпрыгнуло метров на шесть вверх и с грохотом рухнуло в страшный водоворот. Там, где только что стояли люди, носились волны высотой около 35 метров, вдвое превышающие глубину, необходимую для прохождения самого большого корабля.

Население было охвачено паникой: территория в 1 миллион квадратных километров, по площади почти равная Техасу и Калифорнии, вместе взятым, подверглась разрушениям. Страшная волна достигла Ан-

кориджа, Кордовы и Кетчикана. На расстоянии 400 километров от места землетрясения в результате смещений морского дна были оборваны подводные кабели. Взлетная дорожка аэропорта в Якутате покрылась трещинами, и стоявшие ровными рядами 1100 баллонов с гелием упали по направлению к югу, как бы поклонившись источнику катастрофы. На берегу озера Крийон, вблизи лагеря геологов, сорванные со всех молодых хвойных деревьев верхушки упали в направлении на юго-запад.

В 200 километрах к востоку, в районе Джуно, в результате колебаний земли падали трубы, звенели колокола, а песчаная отмель дрожала как желе. В магазинах падали с полок товары, а публика, присутствовавшая в театре «Капитоль», была так испугана толчками, что ее с огромным трудом удалось успокоить.

В Сиэтле, который находился на расстоянии 1600 километров от эпицентра, сейсмографы береговой и геодезической службы зафиксировали колебания почвы величиной более двух сантиметров. Музыканты, находившиеся в концертной раковине, плавающей по озеру Юнион в городе Сиэтл, довольно долго чувствовали сильную качку. Эта концертная раковина явилась как бы одним из крупнейших сейсмографов в мире.

Даже на море последствия этого землетрясения были чудовищными. Один рыбак, находившийся в нескольких милях от берега, потом рассказывал, что его лодку как бы подбрасывало вверх сильными взрывами. А по словам другого рыбака, его лодка подпрыгнула примерно метра на четыре вверх. Судовые радисты ловили в эфире мольбы о помощи. В нескольких километрах от Литуий в Астролябии целая гора обрушилась в море.

Особенно большой урон землетрясение нанесло лову лосося, ибо в течение многих дней воды были засорены мертвой камбалой и осьминогами, которые плавали среди множества голых стволов деревьев, огромных скоплений льда и других обломков.

Что же произошло в заливе?

Но все это пустяки по сравнению с тем, что произошло в самом заливе Литуий. Непосредственными очевидцами катастрофы оказались люди, находившиеся на борту кораблей, которые бросили якорь в заливе. Два судна



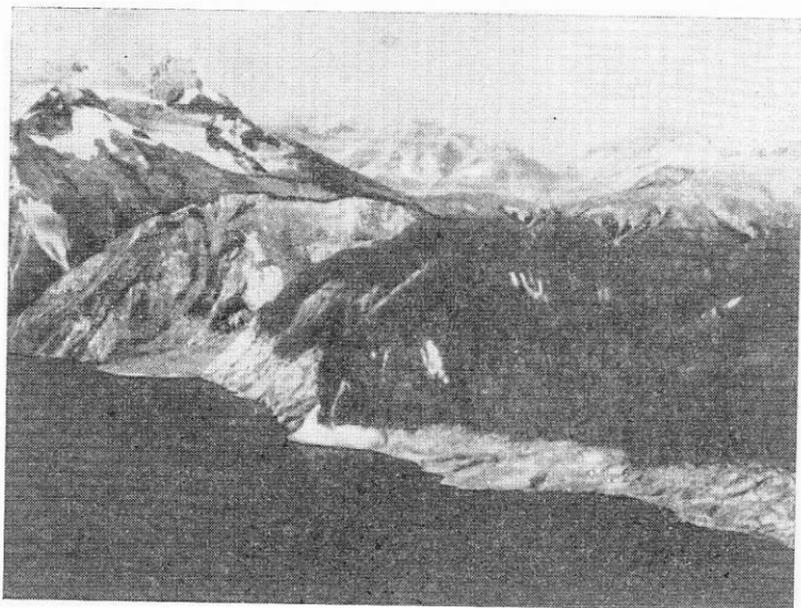
Залив Литуйя (Аляска) после сильного землетрясения 1958 года и вызванной им волны.

На снимке видны оголенные берега и остров, через который перекинулась волна.

стояли на якорю как раз позади косы Шоссе. Этот узкий клочок земли, загроможденный довольно высокими скалами, был покрыт вечнозеленым ковром, который служил защитой от ударов открытого моря.

На борту судна «Баджер» находились супруги Суонсон, а на борту «Санмора» — Орвилл Вагнер и его молодая жена. Третье судно — «Эдри» — бросило якорь чуть восточнее, около южного берега залива. На его борту находились Говард Ульрич с семилетним сыном. От страшного толчка всех их выбросило с коек. Вскочив на ноги, они не поверили своим глазам: море вздыбилось.

Затаив дыхание от страха и удивления, супруги Суонсон наблюдали, как танцевали горы в сгущающихся вечерних сумерках. На их глазах гигантские оползни, поднимавшие тучи пыли и снега на своем пути, начинали бег по склонам гор. Вскоре их внимание привлекло совершенно фантастическое зрелище: масса льда ледника Литуйи, находящегося далеко к северу и обычно скрытого от взо-



Южный берег залива Литуйя и горы Фэрвезер (Аляска) после сильного землетрясения 1958 года и вызванной им волны.

На снимке видны оголенные берега на высоту в несколько сот метров.

ров пиком, который высится у входа в залив, как бы поднялась выше гор и затем величественно обрушилась в воды внутреннего залива. Все это походило на какой-то кошмар!

Возникла огромная волна

Несмотря на то что катастрофа происходила в девяти километрах от места стоянки кораблей, все выглядело ужасно. На глазах потрясенных людей вверх поднялась огромная волна, которая поглотила подножие северной горы. После этого она прокатилась по заливу, сдирая деревья со склонов гор, разрушая недавно покинутую лагерную стоянку альпинистов; обрушившись водяной горой на остров Кенотафия, она поглотила старую хижину Хускрофта и наконец перекадилась через высшую точку острова, возвышавшуюся на 50 метров над уровнем моря.

Волна закрутила судно Ульрича, которое, потеряв уп-

равление, со скоростью галопирующей лошади понеслось к судам Суонсона и Вагнера, все еще стоявшим на якоре. К ужасу людей волна разорвала якорные цепи и потащила оба судна, словно щепки, заставив их проделать самый невероятный путь, который когда-либо выпадал на долю рыбацких судов. По словам Суонсона, внизу под кораблем они рассмотрели верхушки 12-метровых деревьев и скалы величиной с дом. Волна буквально перебросила людей через остров в открытое море.

Несчастный Вагнер и его жена погибли в результате кораблекрушения. Но Суонсону повезло: его судно довольно удачно село на камни, после чего Билл Суонсон и его жена спаслись на маленькой плоскодонке. В ней их носило по морю до тех пор, пока не подоспела помощь. Находясь на отдыхе в госпитале Джуно, они поведали о своих совершенно фантастических приключениях.

Говард Ульрич и его сынишка Сонни также спаслись только чудом. Как и других рыбаков, их разбудили громовые удары волны о борт «Эдри». Ульрич услышал все усиливающийся грохот, который раздавался со стороны входа в залив, и увидел вздымающуюся волну, ту самую, которую видели супруги Суонсон, только значительно ближе. Потрясенный, он увидел, как ледник Литуйи упал в воду, которая быстро поднялась на огромную высоту по крутым склонам северной горы, — Ульрич даже не поверил своим глазам. После этого волна начала перекатываться по заливу, с шумом обрушиваясь на склоны гор.

Выйдя из оцепенения, Ульрич принялся неистово заводить мотор, пытаясь поднять якорь. Но было слишком поздно, он так и не смог этого сделать. Волна, достигшая высоты 15 метров, перекинулась через остров. Ульрич быстро одел на сына спасательный жилет и крикнул, чтобы тот держался за что-нибудь. Затем, вспомнив о радио, он дико закричал в микрофон, подавая международный сигнал бедствия: «Мей дей! Мей дей! «Эдри» в заливе Литуйя! Все черти сорвались с привязи и бросились на нас! Прощайте!».

Стремительная скачка

Ульрич увидел, как на южном склоне волна вздыбилась метров на 165 вверх, а затем хлынула к «Эдри». Он пытался расклепать якорную цепь, но ее внутренний ко-

нец был очень плотно закреплен и цепь не поддавалась. Ульрич ухитрился поставить судно носом к волне, и оно стало подниматься все выше и выше. Цепь натянулась, а затем лопнула. Короткий ее конец щелкнул, как кнут, и обвился вокруг ходовой рубки.

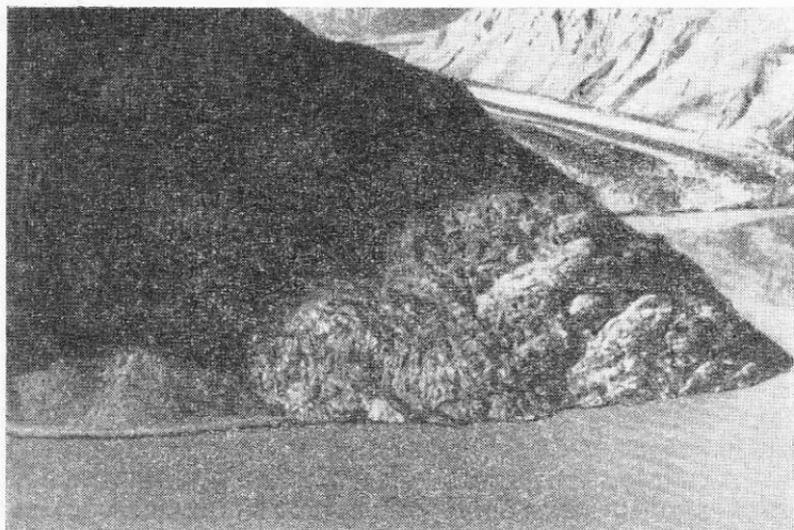
Судно, полностью потеряв управление, взлетело вверх над местом, которое только что было сушей, и вновь низверглось вниз, отброшенное встречным бешено крутящимся, вспененным водоворотом. Мотор еще как-то работал, и в течение последующих минут Ульрич пытался спасти судно, маневрируя в ледяном месиве, где каждая льдина могла разнести «Эдри» в щепки. Все время помня о сыне и призывая его по возможности беречься, Ульрич-старший с величайшим трудом продвигался к выходу из залива.

Момент для этого был самый неподходящий. Вода все прибывала, и беснующиеся мутные волны делали узкий проход опасным как никогда. Но Ульрич знал только одно — он должен попытаться проскочить! Кто знает, что произойдет в следующее мгновение?! Он не должен задерживаться в Литуе дольше, чем это необходимо. Обвязав сынишку подушками, он пригнулся к штурвалу — вероятно, это был самый страшный момент в его жизни, да и в жизни Сонни тоже!

Но им сопутствовало счастье. Какой-то рыбак, услышав по радио отчаянный крик Ульрича, мгновенно оценил всю опасность положения. Поставив свою лодку напротив выхода из залива, он зажег прожектор, чтобы Ульрич мог ориентироваться в густом вечернем мраке. И стойкий «Эдри» пошел на него. Течение с бешеной силой швыряло судно то в буруны, то на рифы в проходе. Три огромные волны снесли с него все, что еще уцелело. Шпангоут протестующе стонал. Судно прыгало и сотрясалось, но все же выдержало испытание. Говард Ульрич и его семилетний сын Сонни «оседлали» самую большую в мире волну.

Самая большая волна

Какой высоты достигала волна в Литуе? И какой урон она нанесла? Несомненно одно: эта волна была гораздо выше тех волн, которые оставили свои отметки, в свое время обнаруженные Миллером.



Оголенный участок на склоне горы в северной части залива Литуйя (Аляска) после сильного землетрясения 1958 года и вызванной им волны.

Вода поднялась на высоту 550 метров по склону горы, вырвала с корнем лес и смыла землю с коренных пород!

Голые склоны гор по берегам залива свидетельствуют о высоте волны — местами она достигала 165 метров! Оказалось, что выяснить причину такого гигантского поднятия волн не так-то просто. Фотоснимки, сделанные береговой и геодезической службой несколько недель спустя, тщательно изучались под микроскопом опытными расшифровщиками. Одно было несомненно: в залив с 1000-метровой высоты окружавших его гор обрушились колоссальные лавины. Тонны льда обвалились также с крутой стенки ледника Литуйя, но, возможно, это и не оказало большого влияния на высоту волн.

Вся эта масса внезапно низверглась в воды тесного залива, вызвав огромную волну, высота которой, очевидно, достигала 17 — 35 метров. Ее энергия была столь велика, что волна яростно носилась по заливу, захлестывая склоны гор. Во внутреннем бассейне удары волны о берег, вероятно, оказались очень сильными. Склоны северных гор, обращенные к заливу, оголились; там, где

раньше рос густой лес, теперь были голые скалы; такая картина наблюдалась на высоте до 600 метров!

Было ли это оползнем? Не удалось обнаружить ни малейших признаков оползней. Наблюдатели, просматривавшие местность с небольших самолетов,— а геологи Миллер и Манн даже с вертолетов,— к своему величайшему удивлению вынуждены были отметить, что горные породы были полностью обнажены. С этим заключением вполне согласились фоторасшифровщики из Вашингтона. Профессор Вигель из Калифорнийского университета продемонстрировал на модели, что данные специалистов о высоте волны вполне правдоподобны. И все же нашлись сомневающиеся. Это и не удивительно. Доводилось ли кому-нибудь раньше слышать о такой волне?

Вероятно, самым убедительным доказательством послужило открытие, сделанное Миллером. Миллер обнаружил, что деревья, растущие на верхней границе обнаженной площади чуть ниже 600 метров над заливом, согнуты и сломаны, их поваленные стволы направлены к вершине горы, однако корни не вырваны из почвы. Что-то толкнуло эти деревья вверх. Огромная сила, свершившая это, не могла быть не чем иным, как верхом гигантской волны, которая захлестнула гору в тот июльский вечер 1958 года. Высота этой волны в 10 раз превышала Ниагарский водопад! После этого ученые уже не сомневались в значении линий, обнаруженных Миллером.

XI. МУЖЕСТВЕННО ПЕРЕНОСИТЬ НЕСЧАСТЬЯ

Природой не управляют, а лишь подчиняются ей.

Бэкон

Дон Лит как-то заметил, что человек — самый страшный враг самому себе; это справедливо по крайней мере в отношении землетрясений. Так или иначе можно с полным основанием отнести критику Литы ко многим деяниям человека на нашей планете. Но не они являются предметом нашей книги — вернемся к землетрясениям!

При сотрясениях земли строения, созданные человеком, нередко становятся для него ловушкой. Большинство человеческих жертв во время землетрясений и сопутствующих им пожаров, наводнений и других стихийных бедствий связано с обвалами зданий.

Что же можно предпринять?

Разумеется, приостановить землетрясение мы не можем. Даже более могущественные создания, чем римские боги, не в состоянии были бы сделать это. Итак, мы должны с ними считаться, принимать их как таковые и по возможности готовиться к ним.

Ясно также, что человек не в состоянии и предсказывать их, во всяком случае, в настоящее время. Даже если бы это и было в его силах, то можно было бы спасти некоторое число жизней, но далеко не всех. Достаточно вспомнить предупреждение о цунами на Хило. Что же касается недвижимой собственности, то ее вообще спасти не удастся, сколько бы сейсмологи ни предупреждали об опасности. В наши дни люди как будто уже научились строить дома, дамбы, мосты и другие сооружения с таким расчетом, чтобы они не пострадали от землетрясе-

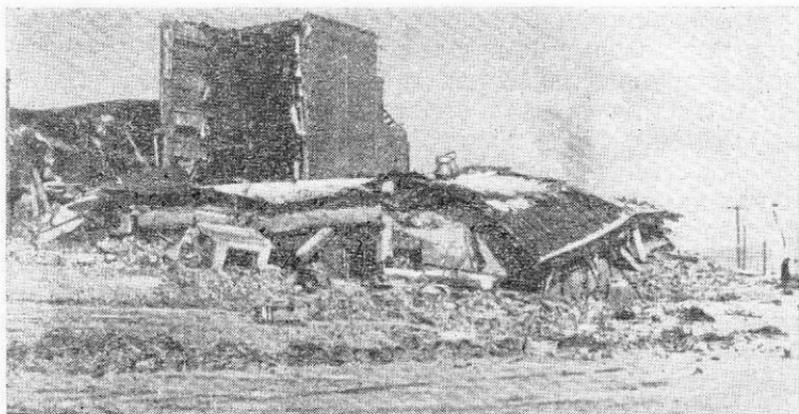
ний. Это задача не легкая, но уже проделана большая работа, и мы надеемся, что со временем проблема будет полностью разрешена.

Опасность, грозящая сверху

Во время землетрясения 1580 года, вошедшего в историю Великобритании, где землетрясения бывают крайне редко, а уж если и бывают, то незначительные, пострадал только один человек. Им оказался ученик подмастерья, погибший от упавшего с крыши камня. Этот незначительный на первый взгляд факт свидетельствует о необходимости принятия серьезных мер предосторожности. Прежде всего в сейсмически активных зонах не следует прибегать к излишнему украшению домов. Речь идет об украшениях, которые могут упасть на людей. Сколько людей погибло от падающих обломков парапетов с крыш, кусков черепицы и других предметов, которые, падая на мостовую, разбивались вдребезги! По нашему мнению, наибольшую опасность представляют собой падающие трубы, особенно в тех районах, где большинство домов строится из дерева. Как подсчитал Эйби, после землетрясения 1942 года в районе Веллингтона (Новая Зеландия) около 20 тысяч труб требовали ремонта.

Опыт кое-чему научил нас. Сейчас строительными нормами во многих сейсмически активных районах предусмотрены специальные пункты об украшательстве, ибо в недавнем прошлом многие архитекторы очень любили утяжелять здания лепкой, которая легко отваливалась. Времена меняются; вероятно, настанет день, когда все здания крупных городов будут свободны от лепных водостоков, резьбы по камню и других малопривлекательных украшений, некогда столь ценных. В этом, как это ни кажется странным на первый взгляд, неоценимую помощь оказывают землетрясения. По-моему, это не так уж плохо.

Как показали страшные последствия пожаров, вызванных землетрясениями в Лиссабоне, Сан-Франциско, Токио, очень важно, чтобы противопожарные средства всегда были в порядке. Особое значение, естественно, имеет система надежного водоснабжения. Этой проблеме было уделено самое пристальное внимание инженеров-градостроителей во многих уголках земли.



Новое здание школы, разрушенное землетрясением 1935 года в районе города Хелина, шт. Монтана.

Опасность, грозящая снизу

В наших силах строить здания в местах, удаленных от разломов земной коры. К сожалению, это делается не всегда. Очень может быть, что небольшие дома не подвергнутся особой опасности — вспомним, что профессор Байерли живет в доме, который расположен почти в непосредственной близости от самого опасного в Калифорнии разлома. Но все хорошо до поры до времени. Вполне возможно, что пройдет немало времени, прежде чем в этой зоне разлома произойдет землетрясение. Возможно также (как это было с хижинкой, расположенной по соседству с разломом в Неваде), что разрушения будут несерьезными. Ведь дом, стоявший в конце дороги, которая была повреждена разломом Сан-Андреас в 1906 году, не подвергся сильным повреждениям.

К разломам вообще следует относиться с осторожностью. Индийский город Анджар находился на разломе, который в 1819 году породил огромную трещину. После землетрясения уцелела половина города в той его части, которая была приподнята сбросом. Другая половина города опустилась, и на ее месте образовалась болотистая низина. Три тысячи домов было разрушено. Несомненно, когда Анджар строился, то вряд ли кто-нибудь предполагал, что в этой части страны находится зона разлома.

Особое внимание следует уделять строительству дамб и плотин, которые во время толчков могут рухнуть и вызвать разрушительные наводнения, а также мостов, которые могут обрушиться вместе с находящимися на них людьми. Легко представить, что произойдет с гидростанцией Гранд-Кули или с мостом Золотые Ворота, если расстояние между их основаниями сдвинется на несколько метров. Именно такой сдвиг разрушил Южнотихоокеанскую железную дорогу в горах Техахапи. К сожалению, наше железнодорожное полотно независимо от его направления нельзя прервать в каком-нибудь опасном месте. Но не следует строить другие важные сооружения поперек зон разломов. Поэтому при проектировании зданий необходимо предварительно провести геологические исследования и непременно принять во внимание сведения о разломах.

Там, где такие разломы имеются, следует учесть возможные сотрясения земли. Как известно, землетрясения могут быть очень сильными и на удалении от разлома. Как можно судить по сообщениям, после ассамского землетрясения (1897 год) поверхность почвы во всех направлениях вибрировала, словно штормовое море. После толчков она выглядела так, будто по ней прошлись плугом — дерн был сорван и разбросан повсюду. Поэтому необходимо строить как можно более прочные здания, чтобы они могли устоять даже при очень сильных сотрясениях. Но, помимо прочности, сооружения должны обладать гибкостью.

Меры предосторожности

Огромное количество человеческих жертв в результате разрушения саманных хижин и кирпичных зданий общеизвестно. С незапамятных времен здания строились практически без учета землетрясений и удерживались лишь силой тяжести, которая предохраняла их от обрушений.

Многие строительные площадки и даже целые районы вблизи Москвы и других крупных советских городов представляют собой попытку разрешить жилищную проблему быстро увеличивающегося населения. Русские намерены строить как можно больше домов с наименьшей затратой рабочей силы, материалов и времени, стремясь

тем самым экономить средства для промышленности. Поэтому свои многоквартирные дома они сейчас воздвигают без каркаса; дома держатся лишь благодаря силе тяжести. В этих домах живут сотни и тысячи людей. К счастью, москвичам землетрясения не грозят.

Малая Азия — район очень высокой сейсмичности. Константинополь на протяжении целого года (740 год н. э.) испытывал подземные толчки. Напуганное возможным крупным землетрясением, почти все население города во главе с императором Византии покинуло свои дома. Они спаслись только потому, что жили в палатках. Но жизнь в палатках весьма неудобна. Разумеется, все было бы значительно проще, если бы здания строились с учетом мер безопасности, но ведь в те времена люди их не знали! Эта проблема до сих пор связана с большими трудностями, но она чрезвычайно важна — ведь речь идет о безопасности населения во время землетрясений.

Строители предложили и опробовали на практике несколько вариантов. Знаменитый архитектор Фрэнк Райт спроектировал отель «Империал» в Токио в виде низкого строения из очень гибких деревянных конструкций. Он также предусмотрел плоское, похожее на матрац основание — на нем отель буквально плавал, подобно лодке, в мягкой земле. Такое оригинальное решение предусматривало возможность свободного перемещения здания во время землетрясения. В обычных зданиях с массивными фундаментами, достигающими нижележащих твердых слоев грунта, это исключено. И как бы в подтверждение правоты архитектора, отель «Империал» перенес землетрясение 1923 года с очень незначительными повреждениями.

Другой инженер-строитель применил оригинальный принцип, спроектировав для крупного магазина в Лос-Анжелесе дополнительный верхний этаж — новая часть здания покоилась на катках. В случае сотрясений верхняя часть здания могла бы свободно перемещаться аналогично отелю «Империал». Правда, проверить этот принцип в действии пока не пришлось, но сама идея кажется нам весьма разумной.

Инженеры предлагают также вмонтировать сильные пружины в основания приподнятых водяных цистерн для поглощения напряжения и предохранения поддерживаю-

щих стоек от разрушения. Мы уже говорили, что сохранение баков с водой — задача первостепенной важности, ибо вода необходима для тушения возможных пожаров.

В дело вмешиваются инженеры

До сих пор не известно, правильно ли спроектированы современные здания, обладают ли они достаточной прочностью? Возможно, что они даже излишне прочны. В строительство зданий вкладываются огромные средства, поэтому нам нужно знать это наверняка. Сейсмологи и инженеры давно интересуются проблемой влияния землетрясений на прочность зданий. Решение этой проблемы дало бы возможность разработать наиболее эффективный путь к уничтожению напряжений, возникающих при сотрясениях земли.

После трагедии в Лиссабоне маркиз Помбаль, очень энергичный государственный деятель, который занимался восстановлением города, разослал опросные листы по всей стране. В них содержались вопросы о том, что чувствовали люди во время землетрясения, о его проявлении и влиянии на моря, реки и ручьи; вопросы о трещинах в земле, а также о деталях построек, которые обрушились или сгорели. Позднее японские инженеры тщательно изучали последствия землетрясений, стремясь извлечь полезные уроки для населения своей страны. Эти усилия можно рассматривать как начало современной инженерной сейсмологии — науки о строительстве зданий и сооружений со строгим инженерным расчетом, обеспечивающим их безопасность во время землетрясений.

В свое время Неаполитанская академия наук и изящных искусств назначила первую в истории авторитетную научную комиссию для изучения последствий крупнейшего землетрясения, которое произошло в итальянской провинции Калабрии в 1783 году. Этот в общем-то правильный шаг дал весьма незначительные результаты из-за крайне скудных технических знаний того времени. Усилия, которые были предприняты учеными после итальянского землетрясения 1857 года, также оказались малоэффективными. Ирландскому инженеру Мале удалось провести отличные исследования, которые позволили выработать некоторые общие основы по обеспечению безопасности населения во время землетрясений, до сих пор

не потерявшие своей ценности. Можно сослаться на двухтомный труд Мале, озаглавленный «Крупное неаполитанское землетрясение 1857 года: первые принципы наблюдательной сейсмологии» (1862). Кроме того, Мале составил карты, выделив в них четыре зоны: зону полностью разрушенных городов, зону, где произошли разрушения крупных зданий и имелись человеческие жертвы, и зону, где разрушения были сравнительно невелики. К четвертой зоне относятся районы, где ощущались подземные толчки, не вызвавшие, однако, каких-либо разрушений. Такие сведения собирают и в наши дни, особенно после сильных землетрясений на американском континенте.

По сути дела, строительная сейсмология в США понастоящему начала развиваться в 20-е годы XX столетия. Это было вызвано тем, что в западных штатах страны от подземных толчков пострадало множество зданий. Американские инженеры, присутствовавшие на международном совещании в Японии (1929), были поражены тем повышенным интересом, который проявляли их японские коллеги к проблеме уменьшения потерь от землетрясений. Они возвратились домой, преисполненные решимости приступить к подлинно научному решению этой проблемы у себя на родине.

Измерения перемещений земли

Всем нам ясно, что основной задачей является измерение перемещений земли, позволяющее определить характер предстоящих работ. Это не так просто, так как смещения земли очень хаотичны. Каждое землетрясение вызывает серию смещений, и ни одно из них не похоже на другое. Наиболее важными характеристиками смещений служит амплитуда, или размах, колебаний пород земли, а также ускорение или изменение скорости движения. Исследователи ставили весьма примитивные эксперименты: устанавливая в ряд шесть различной длины, они отмечали, какой из них упадет при сотрясении земли¹. Разумеется, подобный метод, давая лишь самое грубое представление о величине смещения земли, не был достаточно надежным. Для получения точных и надежных результатов требовались приборы.

¹ Этот прием употреблял еще акад. Б. Б. Голицын для оценки величины ускорения при сотрясении земли.— *Прим. ред.*

Сотрудники береговой и геодезической службы, которым было поручено изучать землетрясения в общенациональном масштабе, энергично принялись за работу. Они разработали и спроектировали новые приборы, известные под названием сейсмографов для регистрации очень сильных смещений. В отличие от обычных сейсмографов, которые являются исключительно чувствительными и могут зафиксировать очень отдаленные удары, эти приборы не столь чувствительны. Они предназначены только для регистрации сильных смещений земли вблизи эпицентров разрушительных ударов. Характеристики смещений земли измеряются очень точно, а именно это и нужно инженерам, которые используют эти данные в своих расчетах.

Сотрудники береговой и геодезической службы продолжают работать в Калифорнии. Они изучают эффекты сильных толчков, готовят доклады, в которых приводят сведения о разрушениях, произведенных в зданиях, рассылают опросные листы, очень похожие на те, которые некогда рассылал португалец Помбаль, а также составляют карты разрушенных районов, как это делал Мале. Специалисты спроектировали и построили особые машины, которые в состоянии вызвать сотрясения. Машины, снабженные маховиками с неравномерно распределенным весом, приводятся в действие электромоторами с различной скоростью; они наглухо крепятся к каркасам зданий. В результате здания начинают слегка вибрировать; тем самым как бы воспроизводится сотрясение зданий в естественных условиях во время землетрясений. С помощью специальных измерителей вибраций исследователи фиксируют те скорости сотрясения, которые оказывают наибольшее влияние на прочность здания. Эти измерения чрезвычайно важны, так как вибрации, обнаруженные в зданиях при определенных частотах, позволяют определить склонность зданий к аналогичным вибрациям во время землетрясений. Проводимые эксперименты позволяют инженерам проектировать здания с такой частотой колебаний, которая далека от резонансной и безопасна при землетрясениях. В настоящее время — это основной метод в строительстве сейсмически безопасных сооружений.

Выработав программу по изучению землетрясений, сотрудники береговой и геодезической службы в Калифорнии повсюду установили новые приборы. И вот в ожи-

дании разрушительных землетрясений медленно потекли дни. Это напоминает рыбную ловлю, когда поплавки разбросаны далеко друг от друга — клюет, но не там, где ожидаешь. Землетрясения происходили, но обычно вдали от установленных приборов.

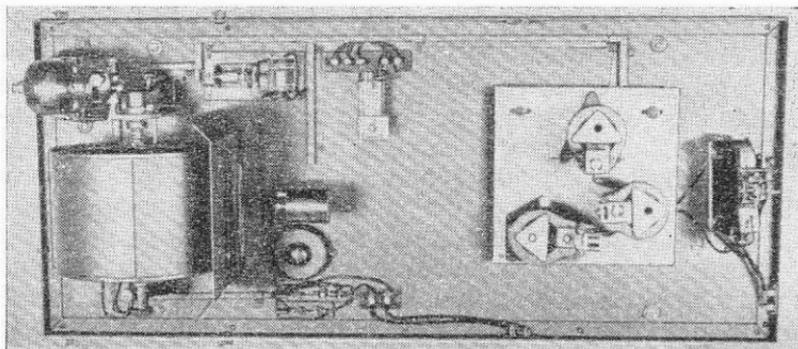
Землетрясение, которое произошло в Лонг-Биче в 1933 году и нанесло ущерб в 41 миллион долларов, дало исключительно ценные материалы. Кроме того, оно в значительной степени ускорило окончание программы по изучению землетрясений, так как на сей раз многие школьные здания были полностью разрушены. И жители Калифорнии с ужасом убедились, что если бы удары последовали несколькими часами ранее, то под обломками зданий погибли бы дети, увеличив скорбный список, насчитывающий 120 жертв.

Именно после землетрясения 1933 года количество устанавливаемых приборов значительно увеличилось и были получены ценные записи нескольких сильных ударов. Для ускорения сбора данных о колебаниях Земли во многих местах, даже в некоторых районах Южной Америки, были установлены сейсмографы для регистрации сильных смещений. Местные сейсмологи пересылают записи землетрясений в адрес береговой и геодезической службы в Калифорнии.

Как и в США, изучение записей производится в Японии, Южной Америке и в других странах. Пытаясь вывести математические закономерности в комплексе различных по силе смещений земли, записанных приборами, специалисты пользуются электронными счетно-решающими устройствами. Но, несмотря на принятые меры, нужных сведений явно недостаточно. Чисто технические проблемы еще полностью не разрешены.

Достаточно безопасны?

Сведения, полученные на основании изучения последствий землетрясений, позволили инженерам утверждать, что большинство современных зданий со стальными каркасами вполне безопасны, если они построены на твердом основании. Высокие здания со стальными каркасами достаточно прочны и гибки, и обычно сильное сотрясение вызывает в них лишь падение слабо закрепленных строительных деталей или предметов с полок.



Сейсмограф для регистрации сильных смещений земли. Применяется для определения характера колебаний, разрушающих здания во время сильных землетрясений (вид сверху).

Справа показаны три узла, которые фиксируют и измеряют колебания в широтном и меридиональном направлениях и сверху вниз. Слева изображен вращающийся барабан, на который наматывается фотобумага. Запись производится световыми точками на фотобумаге.

Сейсмограммы помогают при проектировании сейсмостойких конструкций.

Деревянные строения также очень гибкие, поэтому даже при очень сильных ударах они разрушаются сравнительно редко. В самом деле, многие деревянные постройки во время землетрясения в Сан-Франциско выдержали толчки, но не устояли перед огнем! Жители деревянных домов почти не подвергаются большой опасности, разве только если на них свалятся каминные часы, или штукатурка с потолка, или же кирпичи с разрушившейся трубы.

Что можно предпринять?

Сейсмологов часто спрашивают, что следует делать во время землетрясений? Ответить на этот вопрос не очень трудно, так как имеется несколько, несомненно, ценных практических правил. Прежде всего следует проверить трубы домов и убедиться в их незагрязненности и прочности; высота труб не должна превышать нормы. Кроме того, непосредственно после землетрясения нельзя разжигать печи. Многие пожары были вызваны именно тем, что во время землетрясения кирпичная кладка давала трещины, через которые огонь проникал в деревянные части домов. Пожары во время землетрясения чрезвычайно опасны, так как в этот момент водоснабже-

ние может быть нарушено, а пожарные машины могут и не пробраться по заваленным обломками улицам.

Многие считают, что во время землетрясения не следует выбегать на улицу: это чревато опасностью, так как со строений могут падать различные предметы. Самое безопасное место — проемы дверей или какие-либо другие укрытия подальше от падающей штукатурки¹. Часто жители, спасаясь от обломков, залезают под прочные столы или конторки. Но независимо от места укрытия в любом случае остается надеяться, что землетрясение быстро окончится. Бейли Виллис, крупнейший геолог Калифорнии, однажды сказал: «Стойте спокойно и считайте до сорока. После этого уже неважно, что вы будете делать».

Японцы полагают, что безопаснее всего укрыться в бамбуковых зарослях, где сплетение корней смягчает сотрясения земли. Но американцы не могут воспользоваться этим советом, даже если бы он и был правильным, а он к тому же и неправильный. Многие японцы верят, что землетрясения не долговременны. Некоторые даже делают вид, будто не замечают их, будучи поглощены своими делами. Но на самом деле это не так. Любой из тысячи ударов, которые ежегодно ощущаются в Японии, может повлечь за собой крупное землетрясение.

Мы так и не сказали ничего существенного о положительной стороне землетрясений. По правде говоря, о них можно сказать мало что хорошего, за исключением того, что города, разрушенные землетрясениями и сопутствующими им пожарами, должны быть заново перестроены. Это, пожалуй, единственное благо, а не вред, как может показаться с первого взгляда. Во всяком случае, для Порт-Ройяла катастрофа была благословенной.

Разрушения, вызванные землетрясениями, частично ускорили работы по уничтожению трущоб — на их месте были выстроены хорошо распланированные современные города с сейсмически устойчивыми зданиями и надежной системой канализации.

Не правда ли, странно, что природа заставляет человека исправлять то, что он обязан делать с самого начала. Вот уж поистине человек сам себе враг, особенно в делах, касающихся нашей беспокойной планеты!

¹ Защищают фрамуги в проемах дверей и окон.— *Прим. ред.*

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ	7
ПРЕДИСЛОВИЕ	11
ЗАТОНУВШИЙ ГОРОД	13
I. НЕКОТОРЫЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	17
II. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ СУЕВЕРИЯ И СТРАХИ	33
III. КАК ЖЕ В ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРОИСХОДЯТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	48
IV. ГДЕ ПРОИЗОЙДЕТ СЛЕДУЮЩЕЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ?	65
V. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ?	82
VI. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ	89
VII. КАКОВА СИЛА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ?	110
VIII. ПРИЧУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	122
IX. ПОДВОДНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	136
X. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ЗАЛИВ	153
XI. МУЖЕСТВЕННО ПЕРЕНОСИТЬ НЕСЧАСТЬЯ	165

Э. Робертс

КОГДА СОТРЯСАЕТСЯ ЗЕМЛЯ

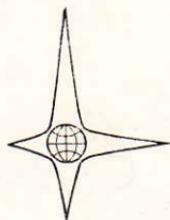
Редактор *И. Я. Хидекель*. Художник *Ю. Л. Максимов*
Технический редактор *А. Д. Хомяков*

Сдано в производство 19/1 1966 г. Подписано к печати 28/V 1966 г.
Бумага 84×108¹/₃₂=2,82 бум. л. 9,45 печ. л. в/ч. 1 вклейка. Уч.-изд. л. 8,74
Изд. № 12/3371. Цена 41 коп. Темплан 1966 г. издательства «Мир» № 243
Зак. 112

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» Москва, 1-й Рижский пер., 2

Ярославский полиграфкомбинат
Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР
Ярославль, ул. Свободы, 97

41 коп.



12