

И.Б. ЛИТИНЕЦКИЙ

ПРЕДВЕСТНИКИ
ПОДЗЕМНЫХ
БУРЬ



И.Б. ЛИТИНЕЦКИЙ

***ПРЕДВЕСТНИКИ
ПОДЗЕМНЫХ
БУРЬ***

КНИГА ДЛЯ УЧАЩИХСЯ 7—10 КЛАССОВ

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1988

ББК 26.21
Л64

*Рецензенты: кандидат физико-математических наук
О. Е. Старовойт; кандидат геолого-минералогических наук
А. И. Полетаев; учитель географии Р. А. Кучерова*

Литинецкий И. Б.

**Л64 Предвестники подземных бурь: Кн. для учащихся 7—10
кл. — М.: Просвещение, 1988. — 191 с.: ил.**

ISBN 5-09-000288-6

Книга знакомит с новым направлением науки — бионикой, которая помогает прогнозировать сложные сейсмические процессы и явления, происходящие в природе.

Автор в научно-популярной форме рассказывает о географии сейсмических районов земного шара, приводит новейшие сейсмические данные о самых разрушительных землетрясениях за последние десятилетия, раскрывает возможности прогнозирования подземных бурь — землетрясений и извержений вулканов. Книга иллюстрирована цветными фотографиями, картами, схемами.

Л 4306020000—655 209—88

103(03) — 88

ББК 26.21

ISBN 5-09-000288-6

© Издательство «Просвещение», 1988



Изот Борисович Литинецкий (1912—1985) — известный ученый, инженер, педагог, журналист, популяризатор научной литературы по технике и бионике. Он автор более 250 научных и научно-популярных публикаций по истории отечественной науки и техники. Человек высокой культуры и энциклопедических знаний, Изот Борисович одним из первых в нашей стране начал популяризировать молодую и бурно развивающуюся бионику, в области которой его считают признанным авторитетом. В течение

многих лет И. В. Литинецкий по крупицам собирал, обрабатывал и систематизировал разрозненный в сотнях публикаций на различных языках мира обширнейший информативный материал о результатах бионических исследований, проведенных со времен Леонардо да Винчи, Кеплера и до наших дней. Книги «Бионика», «Беседы о бионике», «На пути к бионике», «Многоэтажная земля», «Изобретатель — природа», «Барометры природы», «Уроки природы» — увлекательные рассказы, которые с большим интересом воспринимаются читателями, особенно молодежью.

Многолетняя дружба связывала Изота Борисовича с издательством «Просвещение», которое одним из первых поддержало талантливого автора и ознакомило с его книгами сотни тысяч школьников.

Книги его отмечены дипломами на всесоюзных конкурсах, золотыми и бронзовыми медалями.

Много работ И. В. Литинецкий посвятил жизни и творчеству великого русского ученого М. В. Ломоносова. Он был лауреатом премии М. В. Ломоносова.

Интересный собеседник, эрудированный лектор, Изот Борисович постоянно общался с молодыми исследователями природы и всегда умел в актуальных проблемах естественных наук определить главное направление, сделать точный отбор информации, просто, доступно изложить новейшие достижения отечественной науки, увлечь исследованием.



Землетрясения! Вулканические извержения! Каждый год эти извечные враги человека приносят смерть и разрушения жителям многих районов мира. Люди давно стремятся проникнуть в тайны подземных бурь. На какие только ухищрения не пускались ученые, чтобы уловить закономерность подземных катаклизмов! Какие только периоды не отыскивали в хаосе сейсмических событий! Пытались установить свя-

зи с бурной деятельностью нашего светила, с ядерными взрывами на Солнце, с фазами Луны, с понижением атмосферного давления, с муссонами, с другими явлениями. Однако и по сей день ученые так и не научились заранее безошибочно предугадывать, когда и где развернется Земля или с неистовой силой взорвется сотни, тысячи лет безмятежно спавший вулкан.

Между тем у многих животных,

«братьев наших меньших», на сей счет нет никаких затруднений. Они обладают удивительной способностью довольно правильно прогнозировать приближение подземных гроз. Этот очень интересный в научном и практическом плане феномен природы давно привлек внимание ученых. Этой теме посвящены научно-популярные книги: «Беседы о бионике» (М., 1968), «На пути к бионике» (М., 1972), «Бионика» (М., 1976). В них автор горячо призывает сейсмологов и вулканологов целенаправленно заняться изучением поведения животных, «живых сейсмографов», указывающих человеку своим необычным поведением на надвигающуюся катастрофу: землетрясение, извержение вулкана, наводнение, цунами, тайфун.

Еще совсем недавно многие ученые не принимали всерьез сообщения натуралистов о способности животных предчувствовать землетрясения или вулканические извержения.

«Живые сейсмографы» долго ждали своего часа признания, пока не родилась во второй половине XX века новая наука, получившая название «бионика» (от древнегреческого слова *bios* — элемент жизни, ячейка жизни, точнее, элемент биологической системы). Именно бионика занялась изучением феноменальной способности живых организмов прогнозировать подземные бури, положила начало новому научному направлению — сейсмической бионике, объединив в ней интересы специалистов — биоников,

кибернетиков, геофизиков, этнологов, зоологов, морфологов, биофизиков, психологов и инженеров, занимающихся разработкой и созданием сейсмических приборов и систем.

Что же это за наука — бионика? Какова история ее возникновения и развития? Каков круг ее интересов, цели и задачи, методы и средства познания живого? Чего она достигла и что сулит человечеству в обозримом будущем?

В последнем издании Советского энциклопедического словаря сказано, что «бионика — одно из направлений кибернетики, изучающее особенности строения и жизнедеятельности организмов для создания новых приборов, механизмов, систем»¹. Однако такая трактовка бионики сужает ее рамки, не отражает ее специфики, ее предмета и метода. Бионике нельзя отождествлять с кибернетикой или считать ее частью, новой ветвью этой науки. Бионика — самостоятельная наука².

Бионические исследования являются кибернетическими тогда, когда касаются вопросов, непосредственно связанных с процессами управления и связи. На первом месте здесь следует назвать изучение механизмов восприятия, переработки и передачи информации в живых организмах. Однако круг интересов бионики этим не исчерпывается. Она проявляет интерес ко всему, что может быть названо многогранным конструкторско-технологическим творчеством живой природы и быть полезно человеку для созда-

¹ Советский энциклопедический словарь. — М., 1980. — С. 143.

² См.: Мак-Каллок У. Подражание одних форм жизни другим формам — биомимезис // Проблемы бионики. Биологические прототипы и синтетические системы. — М., 1965. — С. 550—557.

ния объектов и процессов новой искусственной природы и механизмов управления ими.

В широком смысле слова бионика — это наука, изучающая принципы организации и функционирования биологических систем, исследующая процессы преобразования энергии и информации, переработки веществ в живых организмах, экосистемах с целью применения полученных знаний для коренного усовершенствования существующих и создания принципиально новых машин, приборов и аппаратов, радиоэлектронной и вычислительной техники, транспортных средств, строительных конструкций, архитектурных ансамблей. Ее можно также назвать наукой об оригинальных технических системах и технологических процессах, созданных человеком на основе идей, найденных при изучении живой природы. При этом во всех перечисленных областях бионики в той или иной мере присутствуют аспекты, связанные с процессами переработки информации и управления.

К сказанному следует добавить, что бионика проявляет также живой интерес к таким важнейшим проблемам, как производство продуктов питания, здоровье человека и охрана окружающей среды.

Формально «датой рождения» бионики принято считать 13 сентября 1960 г. — день открытия в Дейтоне (штат Огайо, США) первого американского симпозиума на тему «Живые прототипы искусственных систем — ключ к новой технике». Однако это чистая условность, ибо

некоторые исследования бионического характера велись в нашей стране задолго до появления термина «бионика»¹. Фактически же корни бионики уходят в глубокую древность.

Живая природа с незапамятных времен служила человеку источником вдохновения в его стремлении к научному и техническому прогрессу. В течение всей своей истории человек учился у природы, копировал ее «изобретения», был самым прилежным ее учеником. Еще древнегреческий философ *Демокрит* (около 460—370 гг. до н. э.) отметил, что люди в своей изобретательской деятельности подражали природе. Он писал, что от животных мы путем подражания научились важнейшим делам, а именно: мы ученики паука, подражая ему в ткацком и портняжном ремеслах, мы ученики ласточек — в построении жилищ, певчих птиц — в пении... Природа сама учит нас сельскому хозяйству.

Это стремление подражать творчеству живой природы, созданным ею биологическим системам особенно ярко проявилось в первых орудиях труда, созданных человеком на заре его трудовой деятельности. Так, изучение топоров первобытного человека, найденных во время раскопок пещер в Швабских Альпах, показало, что в этих древнейших орудиях первым режущим элементом был острый камень, напоминающий острый зуб медведя, т. е. являлся прямым подражанием естественному образцу. В рабовладельческих государствах, как

¹ 7 октября 1952 года президент АН СССР А. Н. Несмеянов создал рабочую группу для обсуждения мер, призванных расширить биофизические, физиологические и экологические исследования насекомых, с тем чтобы превратить биологические науки в поставщика «конструкторских идей».

свидетельствуют археологические данные, были в ходу плуги старокитайской конструкции, которые рыли землю, как свинья или крот, но не делали борозды и не переворачивали пласт. Анализ форм и принципов действия других древнейших орудий труда также показывает, что по своей конструкции и выполняемым функциям они в значительной степени походили на активные органы животных.

Подражая природе, человек не ограничился только созданием первых орудий труда. Всмотритесь в легкие африканские постройки — вы увидите в них очертания цветков и деревьев. Древневосточные пагоды напоминают стройные ели с тяжело висящими ветками, мраморная колонна Парфенона — олицетворение стройного ствола дерева, колонна египетского храма подобна стеблю лотоса, готическая архитектура — воплощение в бесстрастном камне конструктивной логики, гармонии и целесообразности живого.

Особенно усердно учился человек у живой природы в своих попытках конструирования летательных аппаратов. Известно, например, что в тетрадах гениального художника, талантливого инженера, гидравлика и механика Леонардо да Винчи (1452—1519) содержится множество схем, эскизов и рисунков летательных аппаратов с машущими крыльями. «Птица,— писал Леонардо,— действующий по математическому закону инструмент, сделать который в человеческой власти со всеми его движениями...» Но все попытки построить летательный аппарат на принципах машущих крыльев птицы тогда терпели неудачи. Изобретателям не хватало одной существенной детали — легкого и мощного двигателя,

чтобы приводить в движение крылья. В их распоряжении была только мышечная сила человека, заведомо недостаточная для этой цели при существовавших тогда материалах.

Таких примеров, свидетельствующих о прямом копировании конструкторами, изобретателями, зодчими древности форм и функций различных органов животных, архитектоники растений при создании разнообразных орудий труда, механизмов, при возведении ряда архитектурно-строительных конструкций, можно привести еще множество. Все они убедительно свидетельствуют о том, что живая природа тысячелетиями служила человеку источником вдохновения в его стремлении к научному и техническому прогрессу.

Да иначе и быть не могло. Создание искусственных орудий труда требовало определенных знаний, а эти знания сначала могли быть только эмпирическими. Они не могли выйти за пределы созерцания природы, за пределы опыта, так как были самым опытом или прямым его осмысливанием. Поэтому как функции, так и формы первых искусственных орудий труда были более или менее грубыми копиями органов тела животных и человека. А это значит, что происхождение техники в определенной мере бионическое по своей сущности. Бионические принципы всегда были присущи инженерному творчеству.

Большой интерес в бионическом плане представляет творчество великого русского ученого *Н. Е. Жуковского* (1847—1921). Анализируя полет птиц, он открыл «тайну крыла», разработал методику расчета

Извержение вулкана Алайд. Северные Курилы



подъемной силы крыла, которая держит самолет в воздухе. Результаты изучения особенностей полета птиц ученый не замедлил использовать в начавшем развиваться отечественном самолетостроении. Его работа «О парении птиц» (1881 г.) лежит в основе современной аэродинамики. Работы Н. Е. Жуковского, в которых он анализирует движения живых организмов, являются классическим образцом теоретического изучения биологических систем.

Однако при всей многочисленности и значимости почерпнутых человеком в разное время замечательных идей и замыслов, конструкторских и технологических решений из окружающей природы, сыгравших выдающуюся роль в развитии ряда областей науки и техники, бионика как самостоятельная наука не могла бы возникнуть и развиваться, если бы кибернетика:

не способствовала более глубокому пониманию особенностей, достоинств, преимуществ биологических систем перед техническими; не стимулировала превращение биологии из качественной науки в количественную и точную;

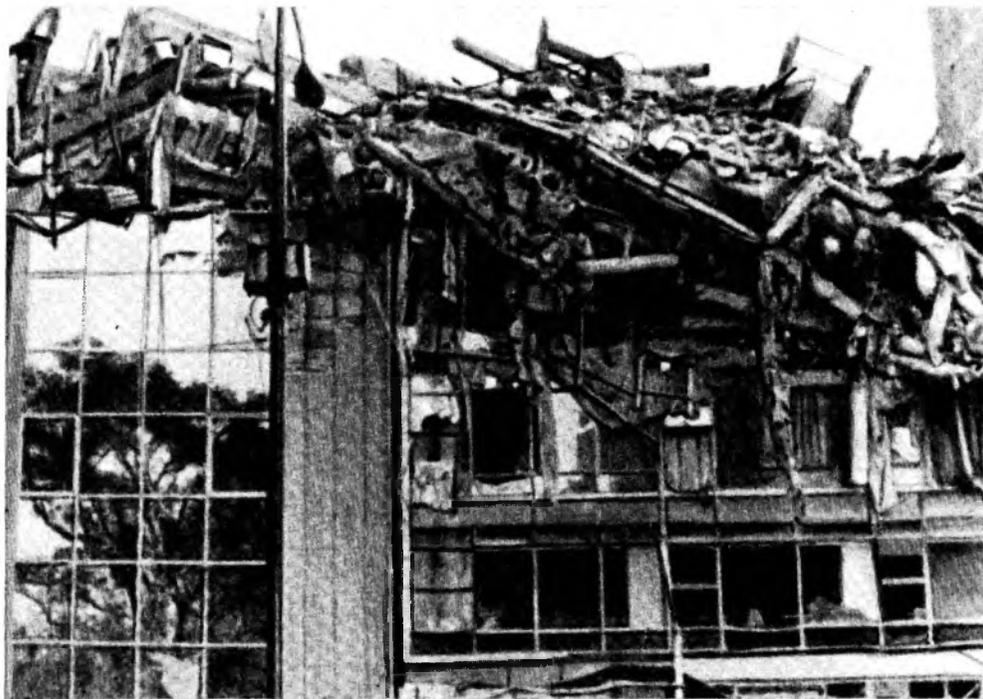
не способствовала созданию новой экспериментальной техники, новых средств исследования живого;

не утвердила свои идеи и методы в биологии, позволяющие получать новые знания в биологических системах, открывать свойства и принципы организации и функционирования живого, применимые в различных областях практики и в сфере научных исследований;

не породила сама множество новых сложнейших научных и инженерных проблем.

Под влиянием кибернетики возникла бионика — новая междисциплинарная наука, или, как принято сейчас говорить, «наука-перекресток». В ней нашла яркое выражение одна из главных особенностей современной научно-технической революции — интеграция, объединение самых различных и даже противоположных по своим предметам и методам наук.

За годы своего официального существования бионика прошла довольно сложный путь в своем развитии. Первые впечатляющие достижения юной науки (в исследовании методов локации, ориентации и миграции животных, рыб, птиц, насекомых, в изучении методов биологической связи, в построении ряда электрических и электрохимических моделей и др.) породили в 60-х годах преувеличенные надежды на бионику как на панацею, могущую помочь во всех случаях жизни. Между тем многие актуальные задачи, продиктованные запросами практики, за решение которых взялась бионика в период своего становления, оказались значительно более трудными, чем предполагалось. Путь прямого копирования природных моделей в ряде случаев оказался недостаточно эффективным, не всегда перспективным. В природе, как убедились бионики, при современном уровне науки и техники надо искать скорее руководящие идеи, нежели модели для подражательного копирования. Встав на этот путь в середине 70-х годов, бионика в течение последних десяти лет блестяще доказала свою жизнеспособность. Из года в год заметно увеличивается выход бионических исследований в различные области науки и практики. Широко известен, например,



большой вклад бионики в развитие вычислительной техники, в создание новых поколений ЭВМ. По подсказке природы создан новый класс навигационных приборов, локационных систем, средств промышленной автоматики, построены шагающие и снегоходные машины, передвигающиеся по пересеченной местности, высокопроизводительные землеройные снаряды. По природным образцам строятся летательные аппараты с машущими крыльями, быстроходные, высокоэкономичные морские корабли длительного плавания, глубоководного погружения и другие транспортные средства.

Успехи сейсмической бионики пока еще скромны, но многообещающи. Сейчас, когда в нашей и других странах мира проблема прогно-

Последствия разрушительного землетрясения в Мехико

за подземных бурь стоит в ряду первоочередных народнохозяйственных задач, необходимо всемерно развивать бионические исследования созданных природой в процессе миллионов лет эволюции биосистем, которые по своей чувствительности к различным аномалиям геофизической обстановки, надежности работы превосходят все имеющиеся ныне в распоряжении сейсмологов и вулканологов приборы и аппараты.

Важнейшим условием плодотворного развития этих исследований является привлечение к ним любознательной молодежи. Именно ей в первую очередь автор адресует свою книгу.

В этой книге автор задался целью познакомить читателя в научно-популярной форме с геологическими процессами, приводящими к подземным катаклизмам, с географией сейсмически активных районов земного шара, с наиболее сильными землетрясениями и вулканическими извержениями, происшедшими с начала нашей эры и в текущем столетии. Книга расскажет, к каким разрушениям ведут подземные катаклизмы, в каких областях в будущем могут произойти крупные катастрофы. Наконец, из книги можно узнать о предвестниках подземных бурь, о многочисленных накопившихся любопытных фактах умения некоторых

млекопитающих, птиц, рыб, амфибий, пресмыкающихся и других организмов предвидеть приближение грозных сейсмических событий.

Вся эта сумма сведений, добытых отечественной и зарубежной наукой, по замыслу автора должна увлечь читателя в поиск решения сейсмического прогноза.

Для человека, стоящего перед выбором своего пути в жизни, сейсмическая бионика — необъятное, благодатнейшее поле деятельности. Тот, кто отдаст новой науке весь пыл и всю страсть молодости, весь опыт и всю мудрость зрелости, никогда не пожалеет о выбранном пути.



Тревожный пульс Земли

Непрерывно перемещаются воздушные массы, вечно волнуется поверхность океанов и морей, и только земная кора — твердая оболочка нашей планеты толщиной 35—70 км — кажется нам в обыденной жизни неподвижной и совершенно устойчивой. Однако это не так. Вера в прочность и незыблемость «тверди земной» — одно из самых распространенных заблуждений человека. Местами, почти на

$\frac{1}{10}$ площади континентов, твердь время от времени начинает буйствовать и в несколько секунд или минут уничтожает творения рук человека и самого человека. Земная поверхность вздымается, колеблется, вибрирует, раскалывается, образуя километровые трещины. Рушатся города, исчезают озера. Гигантские пласты пород вспучиваются или, наоборот, проседают. В горах нередко возникают страшные обва-

лы и камнепады, в морях и океанах рождаются многокилометровые волны — цунами, опустошающие прибрежные районы. Таково одно из самых грозных явлений природы — землетрясение.

Каждый, кто пережил даже не очень сильное землетрясение, на всю жизнь запомнил панический ужас, который испытал при этом. Шутка ли: сама земля, надежнейшая из опор, колышется, сотрясается, взрывается, оседает, ускользает из-под ног! Выдающийся немецкий естествоиспытатель *Александр Гумбольдт* (1769—1859), которому пришлось немало путешествовать и многое повидать, писал в свое время, что землетрясение, пережитое впервые, оставляет глубокое и ни с чем не сравнимое впечатление. Больше всего поражает то, что рушится наша врожденная вера в неизблемость земной тверди. Одноединственное мгновение способно уничтожить иллюзию, безраздельно владевшую нами на протяжении всей жизни...

Великий английский естествоиспытатель *Чарлз Дарвин* (1809—1882) после своего кругосветного путешествия на корабле «Бигл» в 1831—1836 годах вспоминал, какое жуткое впечатление произвело на него разрушительное землетрясение в Конепсьоне (Чили), происшедшее 20 февраля 1835 года. Жестокое землетрясение в одно мгновение разрушило давно сложившиеся представления. Сама земля, это воплощение всего твердого, качалась под нашими ногами, как легкая корка на воде; всего за какую-то секунду возникло острое ощущение незащитности — чувство, которое не могло бы появиться и за долгие часы размышлений.

Таких ярких описаний путе-

шественников, писателей, ученых — очевидцев всемирно известных землетрясений можно было бы привести еще немало. Но оставим их для других глав книги. А пока поясним значение некоторых терминов из словаря сейсмологов, которые будут встречаться далее в тексте.

В научно-популярной литературе землетрясения часто называют подземными бурями, подземными грозами. Знаменитый вулканолог, кинодокументалист и писатель *Гарун Тазиев* образно назвал землетрясения «дрожью нашей планеты, проявлением титанических сил природы». В Толковом словаре русского языка В. И. Даля землетрясение определено как известное явление природы, когда земля колеблется, трясется. Говоря языком сейсмологов, землетрясение — это колебания земной поверхности при прохождении волн от подземного источника энергии.

Волны, которые вызываются землетрясениями, называются сейсмическими. Они подобны хорошо знакомым нам колебаниям воздуха, воды. Существует три типа сейсмических волн, из которых наибольшее значение имеют два типа волн, распространяющихся непосредственно внутри объема горных пород. Это первичные (*primary*), или продольные (*P* — волны), и вторичные (*secondary*), или поперечные (*S* — волны). Продольные имеют тот же характер, что и звуковые волны, т. е. при своем распространении они попеременно давят на горные породы (сжимают их) или создают в них разряжение, растягивают их. Продольные волны подобно звуковым способны проходить через твердые породы, например гранитные горные массивы, и через жидкости,

такие, как вулканическая магма или вода океанов¹. Поперечные волны при распространении сдвигают частицы вещества в стороны, под прямым углом к направлению своего пути², точь-в-точь как это происходит с веревкой, которую привязали за один конец и дергают за другой. Скорость распространения этих двух типов волн неодинакова. Продольные волны проходят около 8 км/с, а поперечные волны — лишь 4,5 км/с. Фактическая скорость продольных и поперечных волн зависит от плотности и упругих свойств горных пород и грунтов, через которые они проходят. В большинстве случаев при землетрясениях продольные волны ощущаются первыми. Их действие похоже на удар воздушной волны, которая создает грохот и треск дребезжащих стекол в окнах. Спустя несколько секунд приходят поперечные волны, которые раскачивают все на своем пути вверх-вниз и из стороны в сторону, смещая поверхность грунта как по вертикали, так и по горизонтали. Именно эти колебания и приводят к наибольшему повреждению построек.

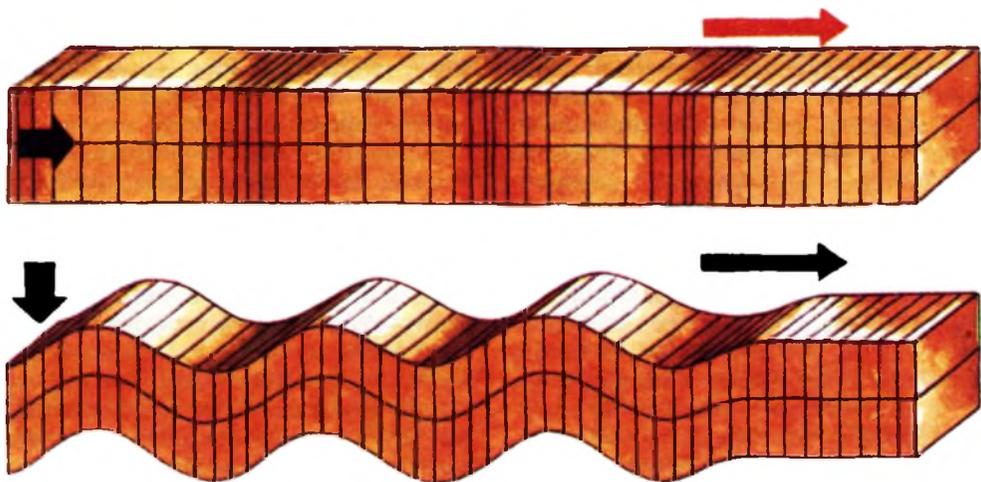
Третий тип сейсмических волн — поверхностные волны. Их часто называют длинными (*long*) волнами (*L*), так как период колебаний у них больше, чем у *P*- и *S*-волн. Они распространяются не внутри Земли, а вдоль ее поверхности. Поверхностные волны, создаваемые землетрясением, делятся на два

вида. Первый называется волнами *Лява*, второй — волнами *Релея* (в честь открывших их ученых). В волнах *Лява* частицы грунта смещаются из стороны в сторону в горизонтальной плоскости, но под прямыми углами к направлению распространения волн. Вертикальных движений не происходит. Волны *Релея* распространяются так: сначала происходит толчок в направлении распространения волны, затем движение вверх, назад, вниз и новый толчок. При движении волны частицы перемещаются по эллипсам вверх и назад по отношению к движению волны. Поверхностные движутся примерно в 2 раза медленнее, чем поперечные волны, причем волна *Релея* распространяется медленнее, чем волна *Лява*.

Для регистрации землетрясения используют сейсмографы — инструменты, сконструированные таким образом, чтобы записывать колебания своих оснований, установленных на земной поверхности или в шахте. На сейсмографе записывается сейсмограмма, т. е. линия, повторяющая колебания земной поверхности в любом выбранном направлении. Всякое изменение частоты или амплитуды колебания на сейсмограмме называется фазой. Главные фазы называют *P*-, *S*- и *L*-фазами. Было установлено, что они фиксируют воздействие соответственно продольных, поперечных и поверхностных волн. Сейсмографы строятся

¹ Из-за сходства продольных волн со звуковыми часть их, выходя из глубин Земли к поверхности, может передаваться в атмосферу в виде звуковых волн, воспринимаемых животными и людьми, если частота их окажется в интервале слышимости, т. е. больше 15 Гц.

² Простое наблюдение показывает, что если какой-то объем жидкости сдвинуть в сторону или повернуть, то он не вернется затем на прежнее место. Из этого следует, что поперечные волны не могут проходить через те участки Земли, которые состоят из жидкости, например через океаны.



Типы сейсмических волн. Вверху — продольные (P), внизу — поперечные (S)

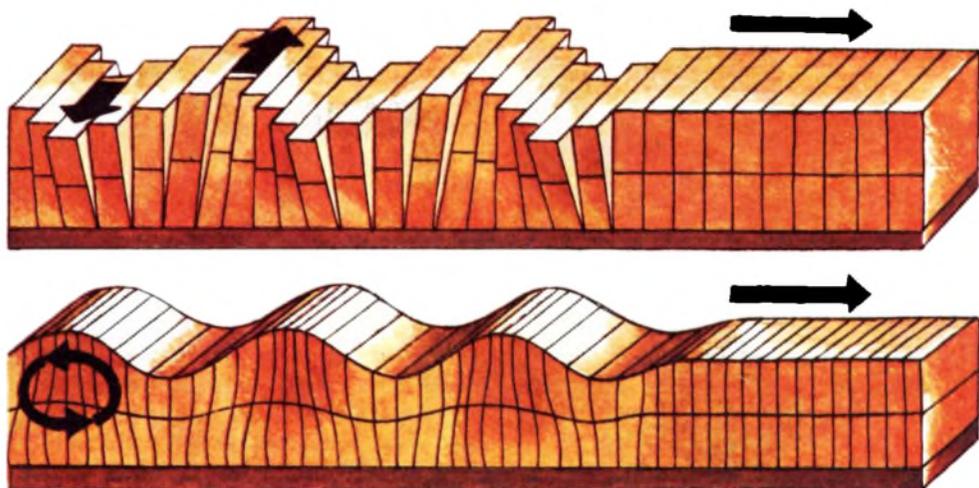
лишь таким образом, чтобы регистрировать достаточно ограниченные диапазоны частот или только интенсивные колебания.

Подобно звуковым волнам, расходящимся от удара гонга, сейсмические волны также излучаются из некоторого источника энергии, находящегося где-то в недрах Земли. Хотя источник естественных землетрясений занимает некоторый объем горных пород, часто его определяют как точку, из которой расходятся сейсмические волны. Эту точку называют фокусом землетрясения или гипоцентром (от греческого слова *гиро* — глубокий). Место на земной поверхности над очагом землетрясения по кратчайшему расстоянию называют эпицентром.

Фокусы многих прошедших землетрясений были расположены на

небольшой глубине, однако в некоторых районах их глубина составляла сотни километров. К таким районам относятся южноамериканские Анды, острова Тонга, Самоа, Новые Гибриды, Японское море, Индонезия, Антильские острова в Карибском море¹. Наибольшие разрушения приносят мелкофокусные землетрясения, очаги которых расположены непосредственно под земной поверхностью. Суммарный вклад этих землетрясений в общую долю энергии всех бурь, происходящих в мире, составляет примерно 75 процентов. Особенно часты такие землетрясения в Центральной Калифорнии. В подавляющем большинстве они происходят там в самых верхних горизонтах Земли, на глубине до 5 км, и только некоторые гипоцентры достигают 15 км. Сплошь и рядом сильные мелкофокусные землетрясения сопровождаются многочисленными землетрясениями меньшей силы в тече-

¹ Самый глубокий из известных толчков произошел на глубине около 720 км под морем Флорес.



Смещение грунта на земной поверхности при прохождении волн Лява (вверху) и Релея (внизу)

ние нескольких часов и даже нескольких месяцев. Их число иногда бывает чрезвычайно большим. Так, в 1965 году после сильного землетрясения, происшедшего 4 февраля на Крысыих островах (в архипелаге Алеутских островов), в течение 24 дней произошло 750 мелких землетрясений (а ф т е р ш о к о в). Они были настолько сильны, что их записали сейсмографы в весьма отдаленных местах. Некоторым землетрясениям предшествуют предварительные толчки из очаговой области — их называют ф о р ш о к а м и.

При характеристике землетрясений применяются еще такие термины и определения:

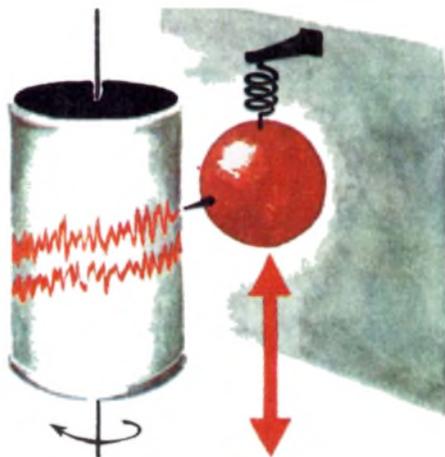
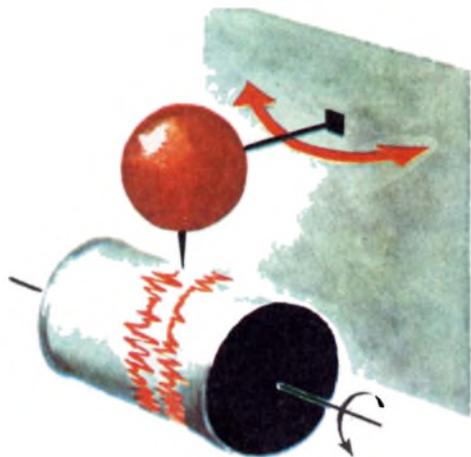
п л е й с т о с е й с т о в а я о б л а с т ь — площадь, где землетрясение было наиболее разрушительным;

и з о с е й с т ы — линии, соединяющие точки с одинаковой интен-

сивностью землетрясения и разделяющие области с различным уровнем интенсивности;

и н т е н с и в н о с т ь землетрясения — мера величины сотрясения грунта, определяется степенью разрушения построенных людьми зданий, характером изменений земной поверхности и данными об испытанных людьми ощущениях.

Интенсивность землетрясений измеряется в б а л л а х. Существует несколько шкал балльности, в деталях или существенно отличающихся друг от друга. Самая ранняя из них была разработана в 1564 году итальянским картографом *Я. Гастальди*. Первая современная шкала интенсивности была разработана в 1883—1884 годах *М. Росси* и *Ф. Форелом*. Эта шкала, которая все еще иногда используется при описании землетрясений, состоит из десяти градаций (баллов): от I до X (цифры римские). В 1902 году была разработана более совершенная 12-балльная шкала. Эта шкала в дальнейшем была видоизменена с учетом особенностей



Принцип действия маятникового сейсмографа для записи горизонтальных и вертикальных колебаний земной коры

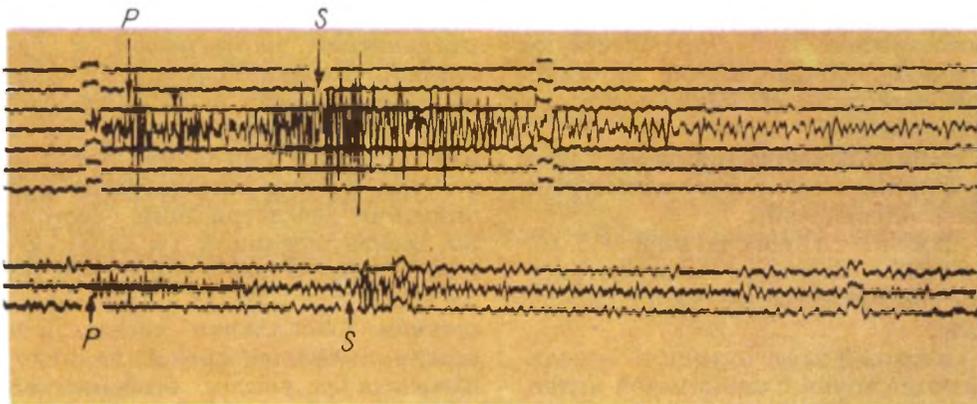
В нашей стране и ряде европейских стран для оценки интенсивности подземных бурь в последние десятилетия используется 12-балльная международная шкала MSK-64.

построек, характерных для Калифорнии, и получила название модифицированной шкалы интенсивности Меркалли, по имени итальянского вулканолога. Ею в настоящее время пользуются сейсмологи США и ряда других стран. В Японии, где условия существенно отличаются от условий в Калифорнии, применяется своя, отличная по балльности шкала.

Условно землетрясения подразделяются на слабые (1—4 балла), сильные (5—7 баллов) и сильнейшие (разрушительные — восемь баллов и более).

Один балл. Землетрясение людьми не ощущается (за исключением

Сейсмограммы неглубокого — 12 км (вверху) и глубокого — 228 км (внизу) землетрясений



единичных наблюдателей, находящихся в особо чувствительных условиях), толчки регистрируются только специальными приборами.

Два балла. Землетрясение очень слабое. Колебания ощущаются лишь немногими лицами, находящимися в покое, особенно на верхних этажах зданий.

Три балла. Землетрясение слабое. Колебания заметно ощущаются в помещениях, особенно на верхних этажах зданий: раскачиваются подвешенные предметы, открытые двери. Стоящие автомобили могут слегка покачиваться на рессорах. Чувствуется вибрация, как от прошедшей поблизости грузовой автомашины. Можно оценить длительность сотрясения.

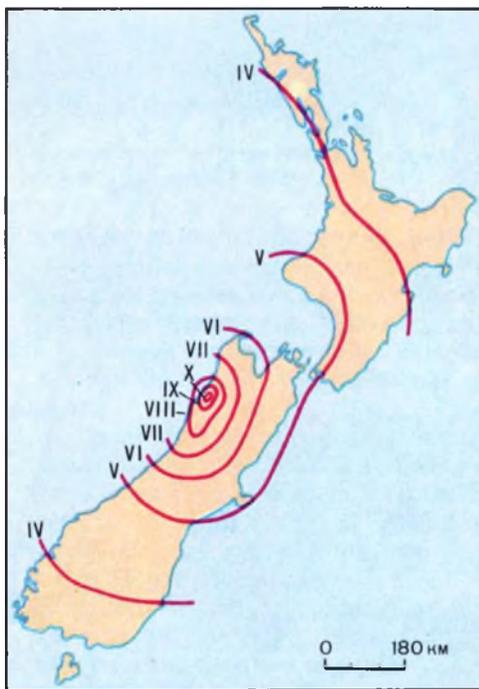
Четыре балла. Умеренное землетрясение. Оно ощущается многими, кто находится в помещении, и лишь немногими — на открытом воздухе. В ночное время некоторые спящие просыпаются. Раскачиваются подвешенные предметы, дребезжат окна, хлопают двери, звенит посуда, трещат деревянные стены и каркасы. Стоящие у дома автомашины заметно покачиваются на рессорах.

Пять баллов. Довольно сильное землетрясение. Ощущается почти всеми, просыпаются спящие. Двери раскачиваются на петлях, закрываются, открываются, стучат ставни. Жидкость в сосудах колеблется, иногда расплескивается. Бьется часть посуды, трескаются стекла в окнах, местами появляются трещины в штукатурке, опрокидывается неустойчивая мебель. Маятниковые часы останавливаются, начинают идти, изменяют ход. Иногда наблюдается раскачивание столбов, деревьев и других высоких предметов.

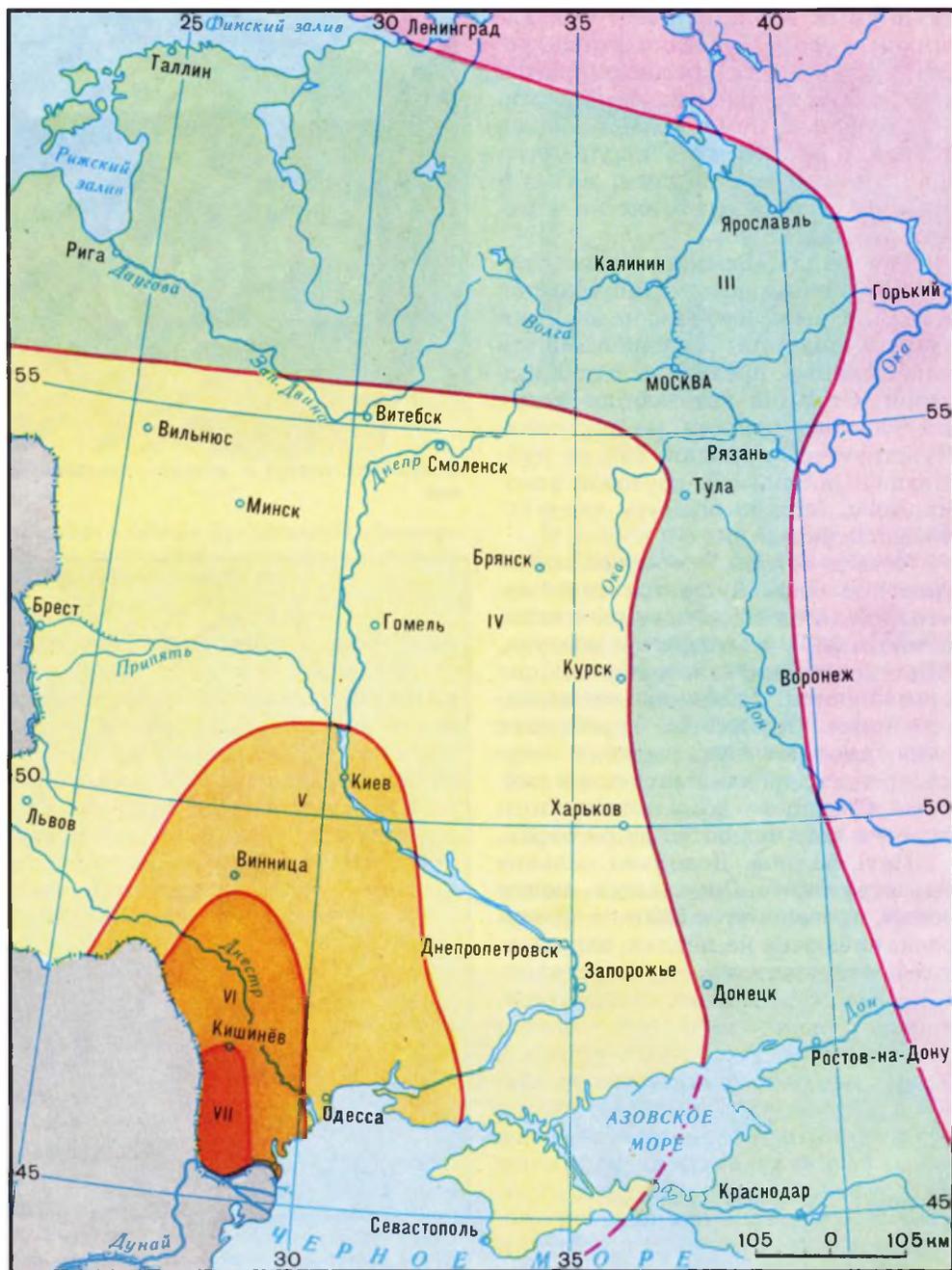
Шесть баллов. Сильное землетрясение. Ощущается всеми. Мно-



Фокус (гипоцентр) и эпицентр землетрясения



Карта изосейст. Изосейсты показывают распределение интенсивностей при сильном неглубоком землетрясении



Карта изосейст карпатского землетрясения 4 марта 1977 года при глубине очага 110 км и магнитуде 7,2



гие в испуге выбегают из домов. Походка становится неустойчивой. Бьются окна, тарелки, стеклянная посуда. Книги, отдельные предметы падают с полок. Падают картины. Приходит в движение и опрокидывается мебель. Появляются трещины в штукатурке и кладке. Заметно сотрясаются деревья и кусты, слышен шелест листьев.

Семь баллов. Очень сильное землетрясение. Трудно удержаться на ногах. Все жители выбегают из домов. Дрожат подвешенные предметы. Ломаются мебель. Многие здания получают значительные повреждения. Печные трубы обламываются на уровне крыш. Обваливаются штукатурка, плохо уложенные кирпичи, камни, черепица, карнизы, а также неукрепленные парапеты и архитектурные украшения. Появляются трещины в су-

Последствия разрушительного землетрясения в Чили в 1985 году

хих грунтах. Происходят небольшие оползни и провалы на песчаных или гравийных склонах. Звонят большие колокола. Мутнеет вода в водоемах и реках от ила. Повреждаются бетонные оросительные каналы.

Восемь баллов. Разрушительное землетрясение. Типовые здания получают значительные повреждения, иногда частично разрушаются. Ветхие постройки разрушаются. Происходит отрыв панелей от каркасов. Поворачиваются и падают печные и фабричные трубы, памятники, башни, колонны, водонапорные башни. Ломаются подгнившие сваи. Обламываются ветви на деревьях, возникают трещины во влажном грунте и на крутых

склонах. Изменяется температура воды в источниках и колодцах.

Девять баллов. Опустошительное землетрясение. Общая паника. Дома разрушаются. Серьезно повреждаются плотины и борта водохранилищ. Рвутся подземные трубопроводы. Появляются значительные трещины на земной поверхности.

Десять баллов. Уничтожающее землетрясение. Большая часть построек разрушается до основания. Обрушиваются некоторые хорошо построенные деревянные здания и мосты. Серьезно повреждаются плотины, дамбы и насыпи. На земной поверхности появляются многочисленные трещины (в отдельных случаях — до 1 м шириной). Возникают большие оползни, вода выплескивается из каналов, рек, озер и т. д. Приходит в движение песчаный и глинистый грунт на пляжах и низменных участках. Слегка изгибаются рельсы на железных дорогах. Ломаются ветки и ство-

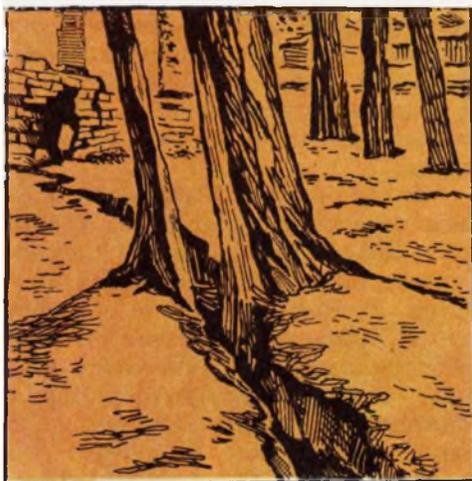
лы деревьев. Животные мечутся и кричат.

Одиннадцать баллов. Катастрофа. Только немногие каменные здания сохраняют устойчивость. Разрушаются плотины, насыпи, мосты. Видны широкие трещины на поверхности земли. Подземные трубопроводы полностью выходят из строя. Сильно вспучиваются рельсы на железных дорогах. Сплывы и оползни в рыхлых грунтах.

Двенадцать баллов. Сильная катастрофа. Полное разрушение зданий и сооружений. На глазах до неузнаваемости изменяется ландшафт, смещаются крупные скальные массивы, на поверхности земли появляются волны, образуются водопады, возникают новые озера, изменяются русла рек. Растительность и животные погибают от обвалов и осыпей в горных районах. Обломки грунта, предметов летают в воздухе.

Из приведенной шкалы интенсивности видно, что для каждого балла установлены свои признаки определения силы землетрясений. Однако эти оценки являются в известной степени условными, субъективными, поскольку они зависят главным образом от впечатлений наблюдателей и от воздействия землетрясения на здания и сооружения. Интенсивность представляет собой до некоторой степени качественное понятие: она не является параметром очага землетрясения, а отражает только наблюдаемое воздействие землетрясения на поверхность земли в определенной точке.

Конечно, можно сравнивать одно землетрясение с другим по числу погибших людей или разрушенных зданий и сооружений. Но эти величины не характеризуют самого



Трещина, образовавшаяся на улице в Алма-Ате во время землетрясения в 1911 году

землетрясения. Они зависят от ряда внешних факторов, как, например, плотность населения в районе бедствия, устойчивость зданий и построек. Огромное влияние на интенсивность землетрясения оказывают также такие факторы, как расстояние до эпицентра, механизм возникновения и др. Небольшое изменение глубины очага влечет большие изменения в размерах пораженной территории. Если эпицентр находится вне суши, прямая оценка максимальной интенсивности может оказаться невозможной. Объективная мера должна обобщать суммарный эффект землетрясения; она определяется по записям на сейсмостанциях.

Способ определения такой меры был найден профессором Калифорнийского технологического института Ч. Рихтером, который изобрел в 1935 году шкалу магнитуд землетрясений.

Магнитуда — это мера полной энергии сейсмических волн. Разработанная Рихтером количественная шкала для оценки энергии очага (или интенсивности в очаге) землетрясения по своей идее сродни той, которая используется астрономами для градуировки звезд по шкале звездных величин, основанной на сравнительной яркости звезд при наблюдении через телескоп. Рихтер определил магнитуду как число, пропорциональное десятичному логарифму амплитуды (выраженной в микрометрах) наиболее сильной волны, записанной стандартным сейсмографом на расстоянии 100 км от эпицентра землетрясения. Магнитуда может изменяться от 0 до 8,8. Если магнитуда оказывается больше на единицу, это означает, что амплитуда волн данного землетрясения возросла в

10 раз. Хотя магнитуда землетрясения связана с его полной энергией, связь эта не вполне прямая, так как используется «логарифмическая» шкала. Ее равновеликим делениям соответствуют постоянно возрастающие количества энергии: повышение магнитуды (M) на единицу соответствует увеличению количества выделенной энергии примерно в 30 раз. Следовательно, при толчке с $M=5$ высвобождается в 30 раз больше энергии, чем при $M=4$, и в $30 \times 30 = 900$ раз больше, чем при $M=3$.

Путно отметим, что одно и то же количество энергии высвобождается по-разному. Оно может накопиться в виде больших напряжений в пределах небольшого участка или же в виде меньших по величине напряжений на гораздо большей площади. От этого зависит спектр излучаемых волн, т. е. распределение долей волновой энергии, приходящихся на ту или иную частоту. В очаге с высокими напряжениями происходит их резкий сброс, следствием чего является большая доля волн с коротким периодом, чем при меньшем сбросе напряжений в менее концентрированном очаге. Ожидаемый характер сейсмического толчка во многом зависит от прочности пород и степени их сохранности до толчка.

Сильными считаются землетрясения, магнитуды которых равны 5—6 единицам. В нашем столетии всего несколько землетрясений, записанных сейсмографами, имели магнитуду 8,3—8,8. Разрушительное сан-францисское (1906 г.) землетрясение имело магнитуду 8,3 и оценивалось в одиннадцать баллов.

В среднем во всем мире ежегодно происходит одно землетрясение с магнитудой 8 и выше.



География землетрясений

Землетрясения происходят на Земле не повсеместно. В одних районах земного шара землетрясения бывают часто, в других они не происходят почти никогда. Если посмотреть на карту нашей планеты, на которой нанесены очаги сейсмической активности, легко заметить причудливость и загадочность получающегося «узора». Разгадывать его ученые начали тогда, когда убедились, что земная кора не

является единым монолитом. В основном очаги землетрясений концентрируются в трех зонах.

Первая — Тихоокеанский пояс. Он охватывает побережье Камчатки, Аляски, западное побережье Северной и Южной Америки, далее тянется к Австралии, проходит через Индокитай, побережье Китая и захватывает Японию.

Вторая зона — Средиземно-морско-Азиатский пояс. Он

идет широкой полосой от Португалии и Испании через Италию, Балканский полуостров, Турцию, Иран, Кавказ, страны Юго-Западной Азии, через Среднеазиатские республики, выходит к Прибайкалью и далее соединяется на побережье Тихого океана с первым поясом.

Третья — протягивается срединно-океаническими хребтами, посреди Атлантического и Индийского океанов. В этих местах находятся гигантские сейсмически активные подводные горные цепи. Хребты соединяются друг с другом, а срединный хребет Индийского океана обходит с юга Австралию и соединяется с другим хребтом, носящим название Восточно-Тихоокеанского поднятия. Оно тянется на восток к Центральной Америке и затем к Калифорнийскому заливу.

Для всей этой глобальной системы хребтов характерна неспокойная геологическая обстановка. Здесь часто отмечаются извержения вулканов, а землетрясения, возникающие вдоль хребтов, нередко образуют целые серии: многие сотни толчков происходят на небольшой площади в течение короткого времени.

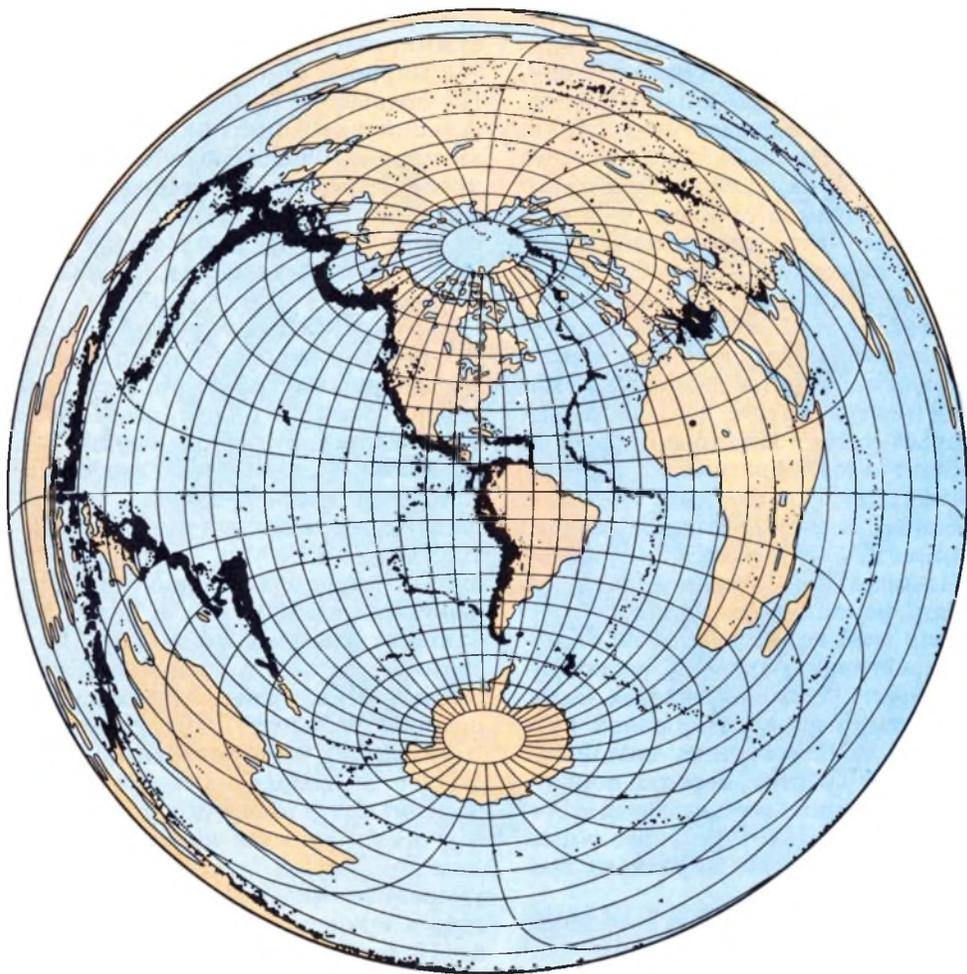
Из трех сейсмических зон самая активная — побережье Тихого океана и его острова. Достаточно сказать, что из всей ежегодно высвобождающейся на земном шаре при землетрясениях энергии в количестве от 10^{25} до 10^{26} эрг (соответствует примерно энергии Днепрогэс при ее непрерывной работе в течение 300—350 лет!) на долю Тихоокеанского пояса приходится 75—80 процентов! Здесь происходит $\frac{2}{3}$ крупнейших землетрясений мира.

В Средиземноморско-Азиатском поясе (его часто называют Альпийским поясом) общее число земле-

трясений несколько меньше: их суммарная энергия 15—20 процентов мировой сейсмической энергии. По сравнению с Тихоокеанским и Альпийским поясами сейсмическая активность срединно-океанических хребтов невелика. Землетрясения здесь не столь часты и не столь сильны (3—7 процентов сейсмической энергии всех землетрясений мира).

Трудами сотен ученых сейсмология сегодня располагает тщательно построенными картами сейсмичности Земли, рядом каталогов, содержащих богатую информацию о многих исторических разрушительных землетрясениях, происшедших в различных частях планеты. Старейшее из таких собраний — китайское, уходящее в прошлое почти на 2800 лет. В этом уникальном каталоге содержатся описания сотен опустошительных подземных бурь, происшедших на территории страны с 780 года до н. э. Детальными историческими записями о землетрясениях давно прошедших лет обеспечила сейсмологов также древняя японская цивилизация. Первые достоверные списки умеренных и сильных подземных гроз в японском каталоге восходят к 416 году н. э.

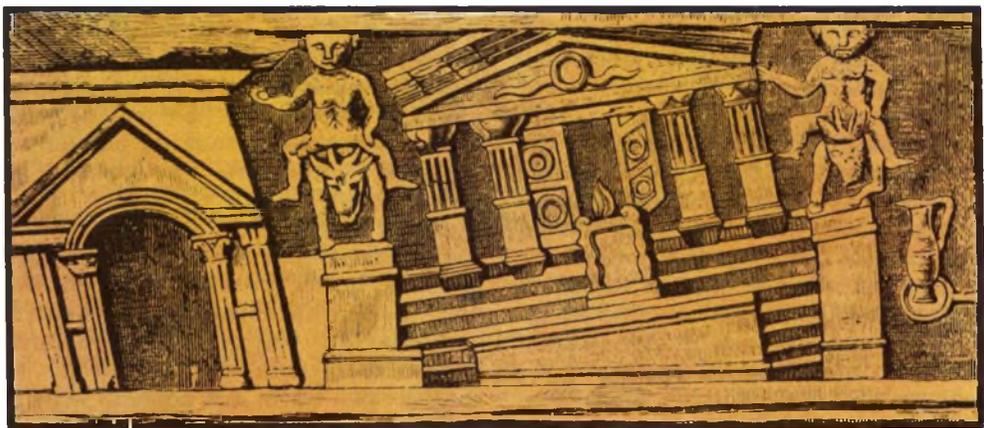
Отдельные описания сильных землетрясений, происшедших в зоне Средиземноморья в период пяти веков до нашей эры и первых пяти столетий нашей эры, содержатся в дошедших до нас произведениях древнегреческих ученых, философов и историков — Геродота, Аристотеля, римских историков и политических деятелей — Плиния старшего, Орозия, в произведениях древнегреческих и римских поэтов и драматургов — Гомера, Эсхила, Овидия и др.



Общая картина сейсмичности Земли. Показаны эпицентры землетрясений с магнитудой 4,5 и выше за период с 1963 по 1973 год

Отзвуки ряда разразившихся подземных бурь вдали от спокойной в сейсмическом отношении Русской равнины нашли отражение в русских летописях. Так, например, летописцы отметили землетрясение в Киеве еще в 1091 году: «...земля стукну, яко мнози слышаша». Упоминаются в летописях также

киевские землетрясения 1107, 1122, 1170 и 1196 годов. Самым заметным из них было последнее. В «Воскресенской летописи» отмечено: «...потресея земля во всей земли Киевской, в Киеве же церкви каменные и деревянные колебахуся и вси людие от страху не можаху стояти, но падающе ниц трепещуще от страха». В нескольких записях летописцев запечатлены дававшие о себе знать на территории Древней Руси сильные румынские землетря-



Античный барельеф, изображающий разрушение храмов в Помпее во время землетрясения в 63 году н. э.

сения. Об одном из них, происшедшем в мае 1230 года, в «Никоновой летописи» записано: «...Того же лета потрясая земля Ростовская, и Суздальская, и Володимирская в самую обедню, також и в Киеве, и Переяславле и Новгороде, и по всей русской земле потрясая, и церкви разседошася в пещере каменная». Другое, румынское землетрясение с магнитудой около 6, ощущавшееся в Москве в октябре 1446 года, по свидетельству летописца вызвало испуг жителей: «...В 6 час ночи тая потрясая град Москва, Кремль и Посад весь, и храми поколебашися; людем же спящим в то время и не слышае вси; мнози же не спяще и слышавше то во мнози скорби беша, и живота отчаявшеся». В 1596 году русские летописи упоминают землетрясение в Нижнем Новгороде. Указываются точно день и час этого события: «Июня 18 день, 3 часа ночи». О силе подземных толчков можно судить по следующим

словам летописца: «...вверх и вниз по Волге на версту появились щели великие. Под старым городом вверх по Оке была слобода. Оползла гора сверху и засыпала 150 дворов с людьми и скотом...» Большие разрушения были причинены в тот раз Печерскому монастырю: «Монастырь стоял на большой горе. И почала гора осыпаться с лесом...

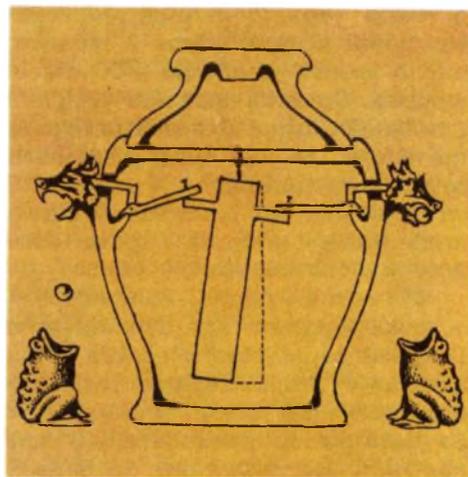


Схема древнего китайского сейсмоскопа (132 год н. э.), первого известного прибора-регистратора землетрясения

И начала бити шум великий и треск по лесу. И обвалилась та гора в Волге-реке, а в Волге учинились бургы великие».

Во многих научных и научно-популярных книгах и статьях, где описываются исторические землетрясения с древнейших времен вплоть до начала XX века (когда в распоряжении ученых появились инструментальные записи), обычно выделяется землетрясение 23 января 1556 года в провинции Шанси (Китай) как самая страшная из сейсмических катастроф. Эпицентр землетрясения находился в городе Сиань, расположенном на берегах великой реки Хуанхэ, где равнины, выполненные рыхлыми осадками, чередуются с низкими холмами, сложенными тонким лёссовым материалом. По рассказам очевидцев, целые города погужались в грунт, разжиженный вследствие этих колебаний, и тысячи жилищ, вырытых в рыхлых лёссовых холмах, обрушились в считанные секунды. Поскольку толчок произошел в 5 часов утра, большинство семей еще находились дома, и поэтому число жертв достигло 830 тысяч человек. Однако, знакомя читателя с сильнейшими подземными бурями прошлых веков, разрушавшими города, опустошавшими целые районы, нельзя не рассказать еще о нескольких полных драматизма исторических землетрясениях.

У юго-восточной оконечности острова Ямайка, где возвышаются Голубые горы, есть большая защищенная бухта. В нее вдается длинная песчаная коса Палисейдоус. За этой косой располагается прекрасная естественная гавань — Кингстон-Харбор, на берегу которой вырос город Кингстон — столица и главный порт Ямайки. Но порт не

всегда находился в Кингстоне. Более ранним поселением был Порт-Ройал, который располагался как раз на конце косы Палисейдоус, протянувшейся на 13 км. Здесь была прекрасная гавань, значение которой особенно возросло в XVII веке.

Порт-Ройал стал главным пристанищем пиратского мира в Карибском море, его называли столицей Генри Моргана, по имени знаменитого пирата. Хотя Порт-Ройал был построен на песке и гравии, там были два хорошо укрепленных форта, церковь, магазины и склады. Многие здания были деревянными и теснились на берегу гавани. Город был торговым центром огромного района, и жизнь там буквально кипела. Всему этому пришел конец.

Трагедия произошла 7 июня 1692 года. Порт-Ройал спал, когда началось землетрясение. Подземный толчок огромной силы потряс весь город. Затем последовало еще два сильных толчка. По рассказам современников, вздымалась и разбухла земля, качались и разрушались дома, сначала звенели, а потом замолкли колокола церкви святого Павла, поскольку обрушилась колокольня, превращались в груды обломков кирпичные здания. Огромные трещины разверзались и смыкались в земле. В гавани вздымались огромные волны, многие корабли перевернулись, некоторые были выброшены на берег. Самая большая волна образовалась при отступлении моря из гавани, но вскоре, вернувшись назад, она с грохотом обрушилась на город и накрыла его в одно мгновение. За три минуты ⁹/₁₀ территории города погрузилось в морскую пучину. Порт-Ройал исчез навсегда. Погиб-

ло свыше двух тысяч человек. Вслед за катастрофой на уцелевшей части земли вспыхнула эпидемия чумы, которая унесла в течение месяца еще три тысячи человеческих жизней...

Через 45 лет после катастрофы в Порт-Ройале величайшая трагедия постигла Калькутту (Индия). Произошедшее здесь 11 ноября 1737 года землетрясение лишило жизни 300 тысяч человек.

1 ноября 1755 года страшнейшая подземная буря, потрясшая своими пагубными последствиями всю Европу, обрушилась на столицу Португалии — Лиссабон. В середине XVIII столетия, как известно, не было ни параметров, ни соответствующих шкал для оценки масштаба подземных бурь, ни приборов для точного измерения магнитуды землетрясений, но теперь считается общепризнанным, что землетрясение, которое произошло в Лиссабоне 230 лет назад, по-видимому, имело магнитуду около 8,9, т. е. максимальный предел.

Никаких признаков надвигающейся катастрофы не было до 9 часов утра, когда вдруг раздался звук, похожий на подземный гром. С ним совпал первый из трех главных толчков, который продолжался чуть более шести минут. Примерно через час после главного толчка море отступило, обнажив приливно-отливную полосу. Спустя некоторое время водные массы промчались назад и обрушились на берег в виде нескольких волн цунами высотой от 5 до 7 м. Значительная задержка во вступлении волн цунами позволяет предполагать, что они были связаны с афтершоками. Эти запоздавшие цунами довершили ка-

тастрофу. Оставшиеся в живых пытались покинуть рушащийся город, переправившись через реку Тахо. В 11 часов, когда более 100 человек собрались на берегу реки, над набережной пронеслась волна... Находившиеся в это время в лодках видели, как волна скрыла набережную и людей, а когда вода отступила, от массивной каменной набережной не осталось и следа. По воспоминаниям очевидцев, набережную поглотила трещина в земле. Специалисты считают, что набережная полностью погрузилась в песчаный грунт.

Разрушение Лиссабона было ужасным. Многие районы города превратились в груды развалин. Сотни жителей, находившиеся в момент толчка в храмах, поскольку это был день всех святых и время первой мессы, погибли под обломками церкви. Все, что уцелело в первые минуты катастрофы, уничтожили пожары и цунами. В год катаклизма в городе насчитывалось около 230 тысяч жителей. Во время катастрофы погибло не менее 60—70 тысяч. Сейсмологи полагают, что эпицентр лиссабонского землетрясения находился в море, в 100 км от берегов Португалии. Границы территории, на которой ощущалось землетрясение, точно установить трудно, так как значительная площадь пострадала от действия сейшей¹. Однако не подлежит сомнению, что радиус ее превысил 1500 км. Толчки ощущались на всей площади — от Азорских островов до Италии и от Великобритании до Северной Африки. Как сообщалось, сейши наблюдались даже в Норвегии и Швеции, в 3500 км от эпицентра!

¹ Сейши — колебания (стоячие волны) воды в заливе или озере.

Через неполных тридцать лет (5 февраля 1783 года) после лиссабонской трагедии сильный удар потряс Калабрию. Очевидцы происшедшего в Италии сокрушительно-го землетрясения рассказывали: жизнь текла здесь обычно, все было занято своими повседневными делами, никто и не думал о надвигающейся грозе. Вдруг раздался мощный подземный удар, и ужас охватил все население. Двух минут было достаточно, чтобы огромная плодородная местность превратилась в груды развалин. Земля поднималась и опускалась наподобие морских волн. Огромные здания рушились с шумом и треском. Большие деревья, точно охваченные бурей, наклонялись к земле и касались ее верхушками, камни на мостовых взлетали в воздух и с дробным шумом сыпались обратно на землю...

Другой удар раздался 28 марта, и то, что уцелело после первого удара, разрушилось теперь. Цепь гор, идущих по Калабрии, не выдержала этого встречного удара, и множество скал с грохотом повалилось в роскошные долины, усаженные оливковыми деревьями... Вдоль морского берега сорвавшиеся горные утесы засыпали цветущие сады. Две довольно высокие горы, расположенные по сторонам долины, как бы сползли со своего основания и с невероятным гулом сдвинулись, преградив течение долинной реки грудой обломков. Море бушевало точно во время урагана. Огромные волны затопили множество зданий и судов. Немало погибло и людей. Многие бросались спасаться на кораблях, однако бушующее море поглотило их в своей пучине. В общей сложности два сильнейших подземных удара

лишили жизни 50 тысяч жителей Калабрии.

В начале двадцатого столетия во многих местах земного шара были созданы сейсмические станции. Начиная с 1903 года документация землетрясений уже не ограничивалась рассказами о субъективных ощущениях и визуальных наблюдениях. Была разработана статистика с достаточно точными и полными инструментальными данными о магнитудах, времени возникновения землетрясений и их географическом распространении. Опираясь на эту надежную информацию, продолжим наш рассказ в хронологическом порядке о крупных сейсмических событиях (их географии, пагубных последствиях и т. д.), происшедших в нашем веке.

Одно из памятных землетрясений XX века произошло 18 апреля 1906 года в Сан-Франциско (Калифорния, США). Город, расположенный на берегу Тихого океана у пролива Золотые Ворота, представлял собой смесь старых и новых зданий, возведенных без какого-либо учета возможных стихийных бедствий. После трех толчков, продолжавшихся 40 секунд, многие районы города Сан-Франциско были стерты с лица Земли. Из-за разрушенных газопроводов возник гигантский пожар. Буйству огня трудно было противостоять, так как водопроводные магистрали и насосные станции в результате землетрясения вышли из строя. Попытка бороться с пожаром при помощи динамита оказалась бесполезной. Город полыхал трое суток. В огне пожарищ погибли 500 кварталов города.

На севере землетрясение ощущалось вплоть до Орегона, на юге — до Лос-Анджелеса — на протяже-



нии 1170 км. В целом ощутимые колебания охватили площадь порядка 1 млн. км². После землетрясения 1906 г. в течение нескольких месяцев из Калифорнии сообщали о сильных aftershockах!

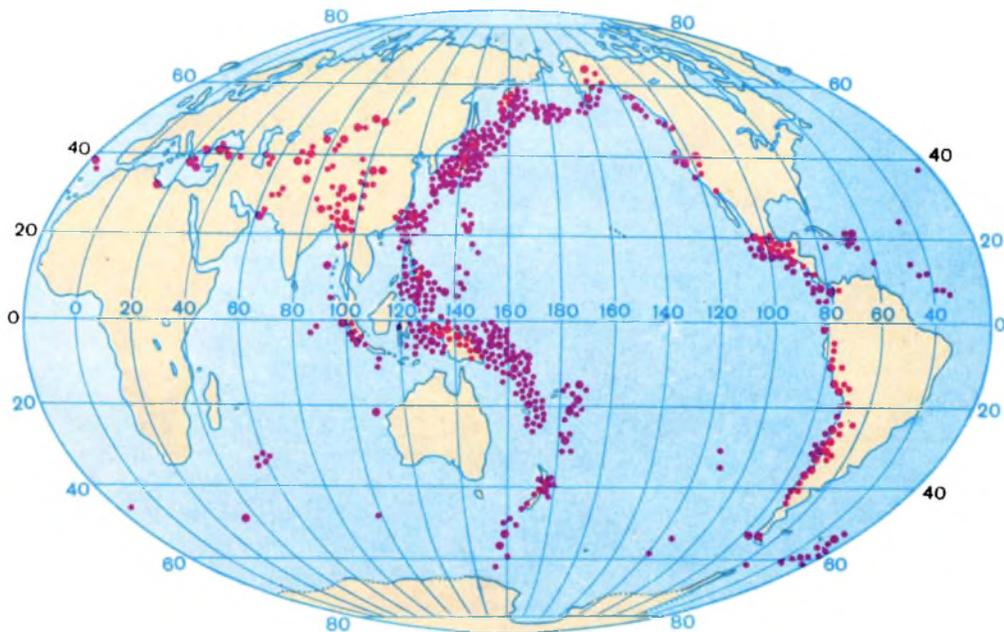
В 1906 году по меньшей мере еще шесть других землетрясений имели магнитуду более 8. Так, например, землетрясения 17 августа на Алеутах (Аляска, США) и в Чили имели магнитуду в первом случае 8,3, во втором — 8,6. Сейсмический толчок магнитудой 8,9 был отмечен на границе Колумбии и Эквадора 31 января. По сей день он является одним из сильнейших инструментально зарегистрированных в текущем столетии.

28 декабря 1908 года страшная подземная буря обрушилась на итальянский город Мессину. Землетрясение имело магнитуду 7,5, погибло 120 тысяч человек. А. М. Горький, живший в это вре-

Старинная гравюра, изображающая разрушительное землетрясение в Базеле (Швейцария)

мя в Южной Италии, так описывает происшедшую катастрофу:

«В 5 часов 20 минут земля вздрогнула; ее первая судорога длилась почти десять секунд: треск и скрип оконных рам, дверных когод, звон стекла, грохот падающих лестниц разбудили спящих: люди вскочили, ощущая всем телом эти подземные толчки... Качались стены, срываясь, падали потолки, посуда, картины, зеркала, изгибался пол, мебель тряслась, двигаясь по комнате, опрокидывались шкафы, подпрыгивали столы... Как бумажный, разрывался потолок, сыпалась штукатурка... В темноте все качалось, падало, с треском проваливаясь в какие-то вдруг открывшиеся пропасти... Земля тихо гудела, стонала, горбилась под ногами и волновалась, образуя



Модифицированная проекция Мольвейде

- Магнитуда 7-7,6
- Магнитуда более 7,6

Эпицентры сильных неглубоких землетрясений за период 1904—1952 годов

глубокие трещины, — как будто в глубине проснулся и ворочался дремавший огромный червь, — слепой, он ползет там в темноте, изгибаются его мускулы и рвут кору земли, сбрасывая с нее здания на людей и животных. Вздогнув и пошатываясь, здания наклонялись, по их белым стенам змеились трещины, и стены рассыпались, заваливая узкие улицы и людей среди них тяжелыми грудями острых кусков камня... Подземный гул, грохот камней, визг дерева заглушают вопли о помощи, крики безумия, стоны раненых... Люди и камни смешиваются в кучи, и все чаще, все сильнее дрожат дома,

церкви, их режет под основание какая-то невидимая коса — ничто не может устоять под ее гигантскими взмахами... Земля волнуется, как море, сбрасывая с груди своей дворцы, лачуги, храмы, казармы, тюрьмы, школы, с каждым содроганием уничтожая сотни и тысячи женщин, детей, богатых и бедных, неграмотных и ученых, верующих в бога и отрицающих его...

Все море качалось, как огромная чаша, готовая опрокинуться на остатки города... Кажется, что вот сейчас вся смятенная масса его выплеснется на землю до последней волны и капли...

Поднялась к небу волна высотой неизмеримой, закрыла грудью половину неба и, качая белым хребтом, согнулась, переломилась, упа-

ла на берег и страшной тяжестью своею покрыла трупы, здания, обломки, раздавила, задушила живых и, не удержавшись на берегу, хлынула назад, увлекая за собой схваченное...»

При десятибалльном мессинском землетрясении пострадали также города Реджио, Сан-Джованни и многие селения Сицилии.

Печальную память оставили о себе двадцатые и тридцатые годы в Китае и Японии. В провинции Ганьюэ два сильных землетрясения в декабре 1920 года и в декабре 1932 года погубили 250 тысяч человек. 1 сентября 1923 года 12-балльное землетрясение охватило область Южного Канто (включая Токио и Иокогаму) — экономические, политические и культурные центры Японии. Эпицентр землетрясения, получившего наименование по названию провинции Канто, наиболее сильно пострадавшей от сейсмического толчка, находился примерно в 80 км к юго-западу от Токио, возле острова Осима в заливе Сугами. Мощнейший подземный удар буквально за несколько секунд полностью и частично разрушил более 254 тысяч домов. Остальное довершили вспыхнувшие пожары: легкие домики из дерева, фанеры и бумаги были уничтожены огнем в течение считанных часов. Многие маленькие города по берегу залива были уничтожены гигантскими волнами цунами, высота которых в ряде мест превышала 10—12 м. Жестокая подземная буря, разрушив Токио и Иокогаму, оставила без крова 3,5 млн. человек и унесла 143 тысячи человеческих жизней. Материальные убытки, понесенные страной, в 5 раз превысили расходы в русско-японской войне.

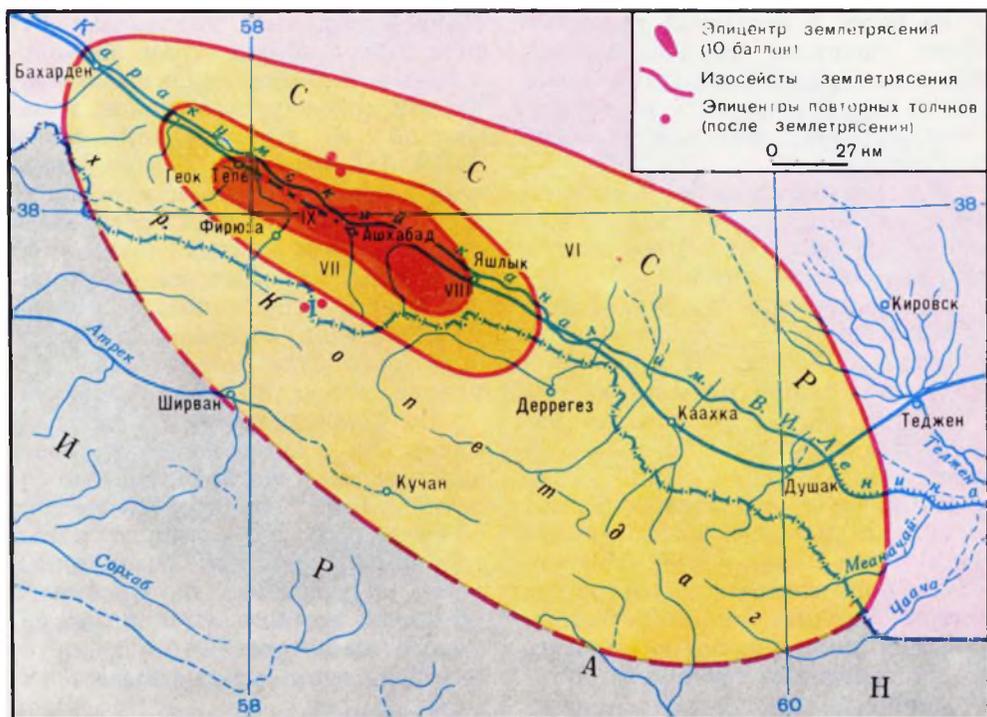
После «Великого землетрясения

Канто» сильным подземным бурям подвергся ряд стран, расположенных в Средиземноморско-Азиатском сейсмическом поясе, в западной и юго-западной части Южной Америки, в Северо-Западной Африке, на юге и юго-западе Азии. 31 мая 1935 года в результате сейсмического толчка магнитудой 7,5 погибло 60 тысяч жителей города Кветта (Пакистан), в городе Чильян (Чили) 24 января 1939 года подземная буря магнитудой 7,75 унесла около 30 тысяч жизней.

На территории нашей страны одним из разрушительных было ашхабадское землетрясение 5—6 октября 1948 года. От сейсмических толчков рухнули старинные храмы, гробницы, крепости, развалились дома, построенные из саманного кирпича, погибли тысячи людей. Такого землетрясения на территории Туркмении не было по меньшей мере 500 лет.



Смещение земной поверхности при землетрясении Канто. Стрелками показаны направления перемещений земной поверхности



Эпицентральная зона и изосейсты ашхабадского землетрясения в 1948 году

В мае 1960 года катастрофическое землетрясение произошло в Чили. Его эпицентр находился на юге полуострова Арауко. Почти немедленно за главным толчком последовало большое количество афтершоков, отмечавшихся на территории всей страны. Подземная буря огромной силы разрушила город Консепсьон, а также крупные промышленные центры — Пуэрто-Монт, Валдивия, Осорно. Без крова осталось несколько миллионов чилийцев. Возникшее за землетрясением мощное цунами смыло порт Анкунд — столицу острова Чилоэ у берегов Чили. Его воздействию подверглось все Тихоокеанское по-

бережье. Даже в Японии были зарегистрированы подземные толчки, приведшие к серьезным повреждениям портовых сооружений.

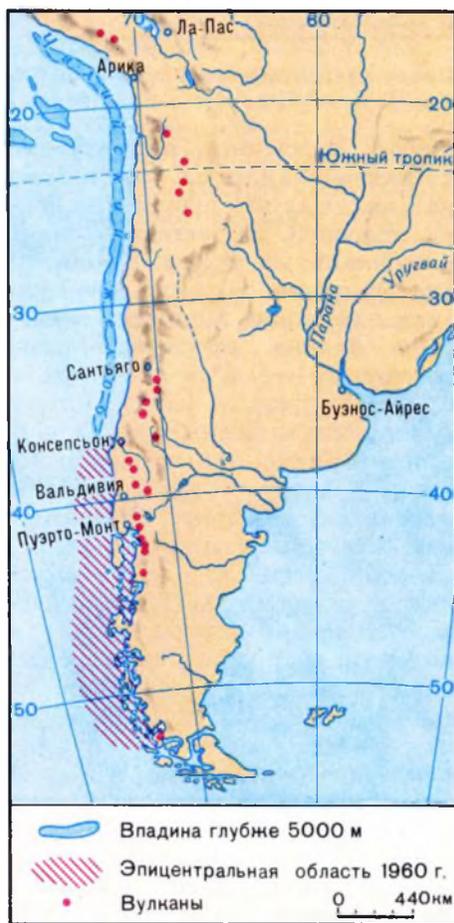
Ровно через четыре года, в марте 1964 года, мировая печать, радио, телевидение сообщили, что на Аляске произошло одно из самых крупных когда-либо известных человечеству землетрясений — магнитудой 8,6. Эпицентр землетрясения находился в заливе Принс-Вильям, примерно на полпути между городами Анкоридж и Валдиз. Значительные разрушения охватили площадь более 65 тысяч км². Смещения земной коры были отмечены на огромных расстояниях: у острова Кадьяк, расположенного почти в 800 км к юго-западу, участок дна Тихого океана внезапным

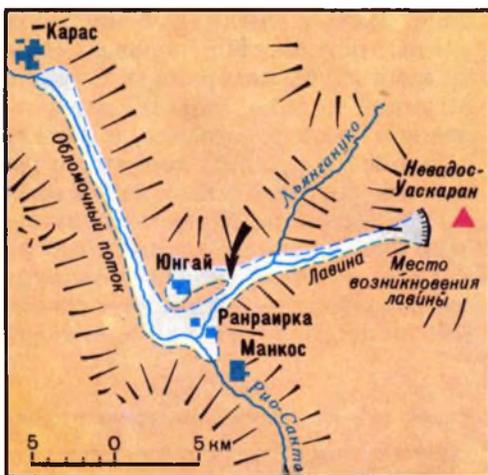
толчком переместился под континентальный массив. Землетрясение действовало на океанские волны, как движение гигантского весла, и породило огромные цунами. Гребни первых волн обрушились на берега полуострова Кенаи через 19 минут, а на остров Кадьяк — через 34 минуты после первого удара. Обрушившись на берег, цунами опустошило приморские поселки вдоль побережья Аляски. Более всех пострадал город Анкоридж, расположенный на расстоянии 130 км от эпицентра; значительный ущерб был нанесен также портам Валдиз и Сьюард. Даже при очень малой численности населения Аляски ущерб, причиненный землетрясением, превысил 300 млн. долларов. Случись такое землетрясение в более густонаселенном районе, оно стало бы одним из крупнейших стихийных бедствий всех времен. Именно так и случилось в ряде густонаселенных районов Перу во время происшедшего здесь 31 мая 1970 года землетрясения, магнитуда которого была немного меньше аляскинского.

В день катастрофы и до него никаких признаков предстоящей беды на территории Перу не наблюдалось. Она разразилась внезапно. Магнитуда толчка составила 7,7, эпицентр находился в 25 км от берега к западу от Чимботе — морского порта с населением около 120 тысяч жителей. После сильного толчка почти все дома, традиционно построенные из кирпича-сырца, были разрушены до основания. В результате разжижения грунтов здания, возведенные на слабых основаниях, получили серьезные повреждения. Человеческих жертв в Чимботе, к счастью, было сравнительно немного: как только нача-

лись толчки, люди выбежали на улицы, погибло 500 человек. Но в 50 км в глубь материка, в густонаселенной долине Уайлас, расположенной непосредственно к западу от наиболее высоких гор, число погибших достигло ужасающей цифры. Менее чем за 30 секунд обрушилась большая часть зданий в городе Уарасе, погибла почти половина его населения — 10 тысяч человек. Не пощадила стихия жителей

Карта района чилийского землетрясения





Путь разрушительной лавины с горы Невадос-Уаскаран (Перу)

других населенных пунктов. Вниз по долине Уайлас на крутых склонах молодых гор произошли десятки оползней. Обрушились склоны аллювиальных террас. Кроме того, землетрясение вызвало множество снежных лавин. Наиболее сильной была лавина, сформировавшаяся на крутой горе Невадос-Уаскаран. Скорость лавины была настолько велика, что каменные глыбы до 6 м в поперечнике, будучи подброшенными в воздух, падали в сотнях метров позади потока. Один из языков лавины перевалил через гряду высотой около 150 м и устремился вниз на город Юнгай. Понадобилось всего лишь две минуты, чтобы лавина достигла города. Передняя стена лавины из грязи и обломков была выше почти всех зданий города. От некогда живописного города с красивой площадью и собором остались лишь небольшая часть соборной стены и четыре пальмы, стоявшие на площади. Из 18 тысяч жителей города погибло 15 тысяч. Далее лавина промчалась еще 12 км

вниз по долине, уничтожив на своем пути другие населенные пункты. В общей сложности во время перуанского землетрясения погибло около 70 тысяч человек, 50 тысяч было ранено и 800 тысяч осталось без крова.

Поистине трагическим в истории землетрясений стал 1976 год. Его по справедливости часто называют годом губительных катастроф: по данным Бюро по вопросам помощи жертвам катаклизмов при ООН в течение 12 месяцев на земном шаре произошло 162 сильных землетрясения, из них 12 крупных и 3 гигантских.

Вереница трагедий 1976 года началась 4 февраля в одной из стран Центральной Америки — Гватемале. Землетрясение магнитудой 7,9 обрушилось на столицу страны в 3 часа 30 минут по местному времени. Очаг землетрясения находился на глубине 10 км. Толчки сопровождалась многочисленными оползнями, поскольку плоскогорье расчленено оврагами с крутыми склонами. Горизонтальные смещения почвы достигали 3 м. Возникли трещины шириной до 9 м, вышли из берегов реки. Пострадала территория площадью 9 тысяч км².

Большая часть столицы, десятки селений и городов центральной части Гватемалы превратились в руины. Погибло 22 тысячи человек, 70 тысяч было ранено. Более миллиона жителей Гватемалы — пятая часть населения страны — остались без крова, без одежды и пищи. В результате смещения и разлома земной коры началось извержение трех из многочисленных в Гватемале действующих вулканов. Землетрясение вызвало к жизни цепь новых вулканов вдоль Тихоокеанского побережья.

В ночь на 7 мая сильнейшая подземная буря обрушилась на Северо-Восточную Италию (район Фриули — Венеция — Джулия). Ее эпицентр находился в 100 км к северо-западу от города Триеста, у городка Толмемеццо. Очаг располагался неглубоко от поверхности. В результате 87 толчков тысячи убитых и раненых, более 150 тысяч жителей остались без крыши над головой. Огромные убытки понесли многие промышленные предприятия, сельское хозяйство.

Землетрясение затронуло большую часть Европы. Главный толчок магнитудой 6,5 ощущался в Берлине, в западных районах Польши и югославском городе Сараево. Подземные толчки достигли и южных районов ФРГ. В Баварии на стенах домов появились трещины, в некоторых местах пострадали водопроводные сети, газопроводы и другие коммуникации. Толчки магнитудой 4—5 были также зарегистрированы сейсмическими станциями Австрии.

28 июля 1976 года страшная катастрофа обрушилась на Таншань-Фэннань — один из густонаселенных районов КНР, находящийся в 150 км к юго-востоку от Пекина. В 3 часа 42 минуты по местному времени огромная яркая вспышка в небе неожиданно осветила все вокруг на площади более 300 км². Десятки миллионов людей были разбужены: земля раскалывалась, вздыбливалась, вздувалась. От ударов жилые здания, промышленные постройки рушились, как карточные домики. В угольных шахтах общей протяженностью 10 км обвалились штреки.

Затем произошел новый подземный толчок, почти такой же силы, как и первый. Открылись новые огромные трещины, поглотившие

множество зданий и людей. Земля продолжала буйствовать и в последующие дни: с 31 июля до 18 часов 1 августа было зарегистрировано 110 толчков силой свыше 4 баллов и 15 толчков силой более 5 баллов. Полностью превратился в руины находившийся в эпицентре землетрясения город Таншань, индустриальный центр с полуторамиллионным населением. Очень сильно также пострадал расположенный от него в 71 км к юго-западу промышленный город Тяньцзинь. Катастрофическое землетрясение в Северном Китае унесло около 700 тысяч жизней, принесло тяжелые увечья почти миллиону человек, экономический ущерб составил огромную сумму. Такой катастрофы в Китае не было на протяжении последних 420 лет (с 1556 года). Ее справедливо называют «катастрофой века».

Эпицентры землетрясений в Северо-Восточном Китае у Хайчэна в 1975 году и у Таншаня в 1976 году





Эпицентр землетрясения в Мексике в сентябре 1985 года

24 ноября 1976 года произошло сильнейшее землетрясение в высокогорной части Турции на границе с Советским Союзом и Ираном. Разгулявшаяся стихия смела с лица Земли город Мурадие, почти полностью разрушила 200 деревень! Спасательные работы были затруднены из-за многочисленных афтершоков. Отдаленность этого района и минусовые температуры усугубили бедственное положение тысяч деревенских жителей, оставшихся без крова.

Многим казалось, что после столь трагически сложившегося 1976 года наступит относительно спокойный период, что на какое-то время подземная стихия возьмет «тайм-аут». Однако этого не произошло. В течение десяти последних лет подземная стихия дала о себе знать во многих странах Европы, Азии, Африки, Южной Америки. Причем, как показывает статистика, за период с 1976 по 1986 год

подземные бури довольно часто «выбирали» для приложения своих сил хорошо обжитые, плотно заселенные районы Румынии, Албании, Индии, Индонезии, Перу, Турции, Италии, Ирана, Греции, Среднеазиатских республик Советского Союза, Мексики, Югославии, США, Канады, Чили. Особенно тяжелые испытания выпали на долю Мексики в 1985 году.

Как и многие другие страны, Мексика расположена в зоне повышенной сейсмической активности. Землетрясения на территории этой страны — явление нередкое. Но такого страшного, катастрофического землетрясения, какое произошло в конце второй декады сентября 1985 года, мексиканцы не помнили.

Трехсотмильная полоса тихоокеанского побережья Мексики, протянувшаяся от Мансанильо до Акапулько, всегда считалась одним из прекраснейших мест в мире, усеянных деревушками и курортами. Эпицентр землетрясения находился в открытом море в 350 км к юго-западу от города Акапулько.

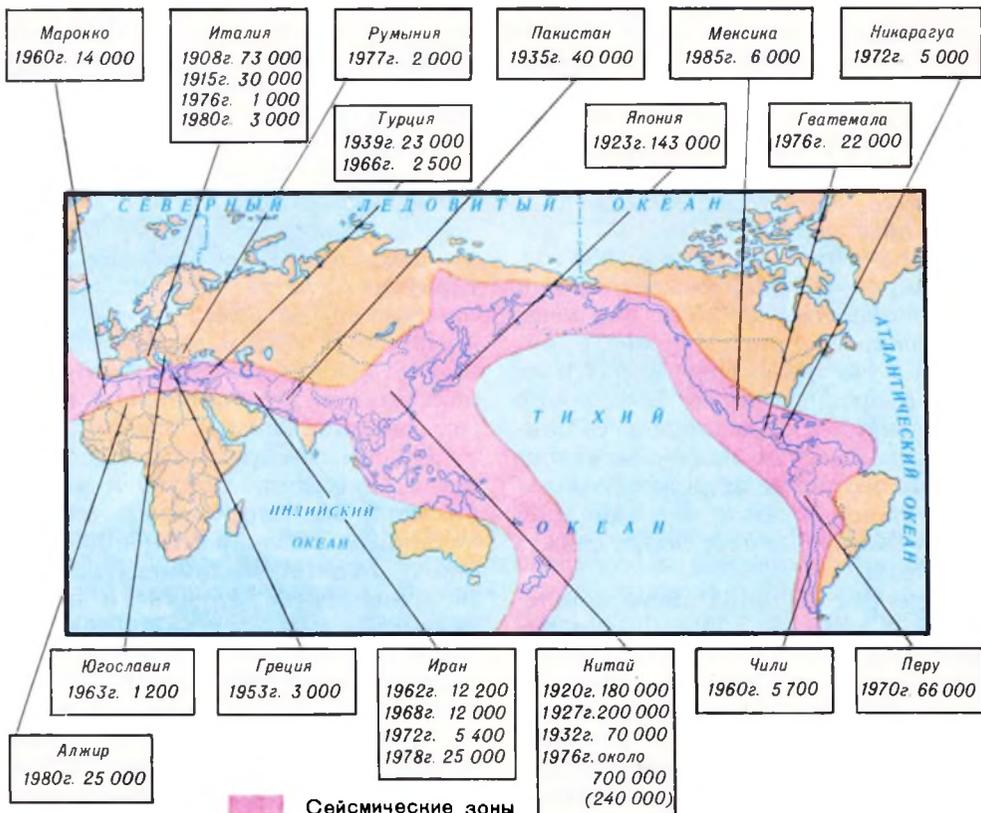
Первый удар интенсивностью в 7,8 балла по шкале Рихтера подземная стихия нанесла днем 19 сентября. Колебания почвы ощущались на территории семи штатов страны. Серьезные разрушения произошли в городе Ласаро-Карденас, в ряде населенных пунктов штата Халиско. Но больше всего пострадала столица страны — Мехико, город-гигант с семнадцатимиллионным населением. За первым ударом последовала целая серия более слабых. Толчки продолжались мучительно долго. Под ударами слепых сил стихии превращались в груды развалин целые жилые кварталы, в центральных районах города как карточные домики пада-

ли дома-небоскребы, отели, банки. Рухнула стометровая телевизионная башня, снеся несколько зданий на своем пути. Образовавшееся в результате разрушений сотен домов гигантское облако серой цементной пыли закрыло ясное небо над Мехико. Произошло несколько взрывов на газовых коммуникациях. Из-под земли забились огненные фонтаны, начали гореть жилища, универсальные магазины, кино-театры, гостиницы. Вместе с газопроводом вышли из строя водопровод, канализация, линия электропередачи. Прервалась телефонная, телеграфная и радиосвязь. Тысячи людей оказались заживо погребен-

ными под развалинами домов, гостиниц, школ и церквей. Не пощадила стихия и крупнейший в Латинской Америке больничный комплекс.

На следующий день, 20 сентября, последовали новые толчки интенсивностью в 7,3 балла. Они усугубили бедствия, обрушившиеся на Мексику в результате происшедшего накануне сильного землетрясения, которое поразило примерно те же районы страны. Через десять дней, утром 30 сентября, в Мехико

Районы мира, где произошли самые разрушительные землетрясения XX века. Указаны даты и приблизительное число жертв



произошло третье по счету землетрясение.

В общей сложности в период с 19 по 30 сентября приборы национальной сейсмической службы зарегистрировали в столице свыше 70 толчков интенсивностью от 4,5 до 7,8 балла по шкале Рихтера. На этом беды многострадальных мексиканцев не закончились. 10 октября на Мехико обрушились ливневые дожди с градом. Земля оказалась покрытой слоем града, толщина которого достигала в отдельных районах города 70 см.

21 октября в Мехико вновь ощущались небольшие подземные толчки, а 29 октября произошло новое землетрясение интенсивностью в 5,7 балла.

По сообщениям мировой печати в результате происшедших землетрясений по всей Мексике погибло более 7,5 тысяч человек. Подземные толчки разрушили и серьезно повредили семь тысяч зданий и построек, 350 тысяч мексиканцев лишились крова.

Неспокойным выдался и 1986 год. В январе — феврале землетрясения интенсивностью от 3,5 до 8 и более баллов произошли в Мексике, в районе Алеутских островов (США), на юге Азербайджана в предгорьях Талышских гор, дважды в Таджикистане. В апреле были зарегистрированы толчки на островах Курильской гряды, в июле — в западной части Венесуэлы и на северо-западе Тибета.

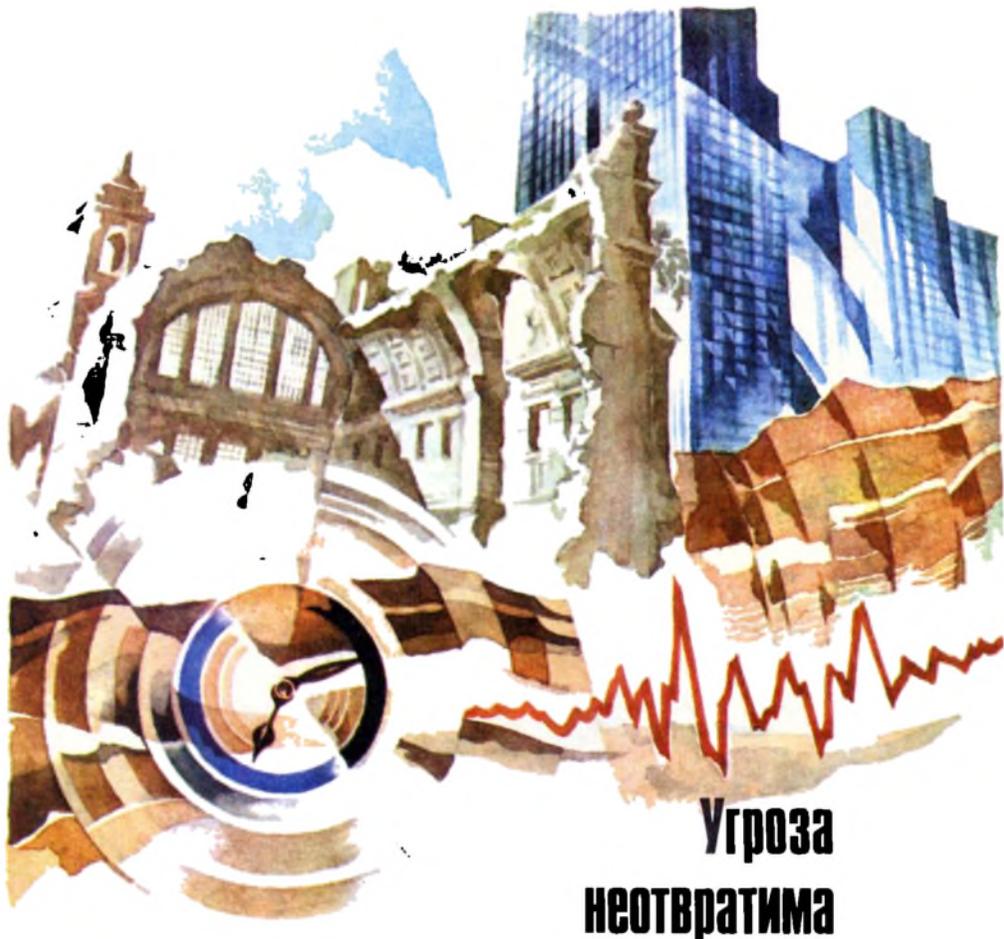
В ночь с 30 на 31 августа сильнейшая подземная буря, зародившаяся в районе румынских Карпат, обрушилась на Молдавию. От восьмибалльного землетрясения сильно пострадали Кишинев и расположенные на юге республики города Кагул и Леово. Стихия повредила

много домов государственного жилого фонда и принадлежавших индивидуальным владельцам. Были разрушены школы, больницы, промышленные и сельскохозяйственные предприятия. В аварийном состоянии оказались коммуникации городов и сел. Ущерб, нанесенный землетрясением, исчисляется 500 млн. рублей. Вся страна пришла на помощь населению пострадавших городов Молдавии.

Пестра, очень пестра география землетрясений. Даже в таких, казалось бы, стабильных в сейсмическом отношении странах Европы, как Бельгия и Швейцария, в районах Северного моря и Скандинавии время от времени бушуют грозные подземные бури. Не обходят стороной подземные бури и некоторые западные районы Австралии, хотя весь этот материк далеко отстоит от активных океанических хребтов и окружающих его островных дуг.

Пожалуй, единственной частью земного шара, которую с уверенностью можно считать свободной от землетрясений, является Антарктида. Это своего рода сейсмологическая загадка, так как в Антарктиде есть и молодые горы, и действующие вулканы, которые в большинстве других районов, видимо, связаны с землетрясениями.

По самым скромным подсчетам все происшедшие только в нашем столетии землетрясения в сейсмоактивных районах мира унесли около одного миллиона жизней (в одном 1976 году число жертв землетрясений составило полмиллиона). А за всю историю человечество, по расчетам профессора Бернхарда Эрнеста из университета в Тюбингене, потеряло от буйства подземной стихии в общей сложности 75 миллионов человек!

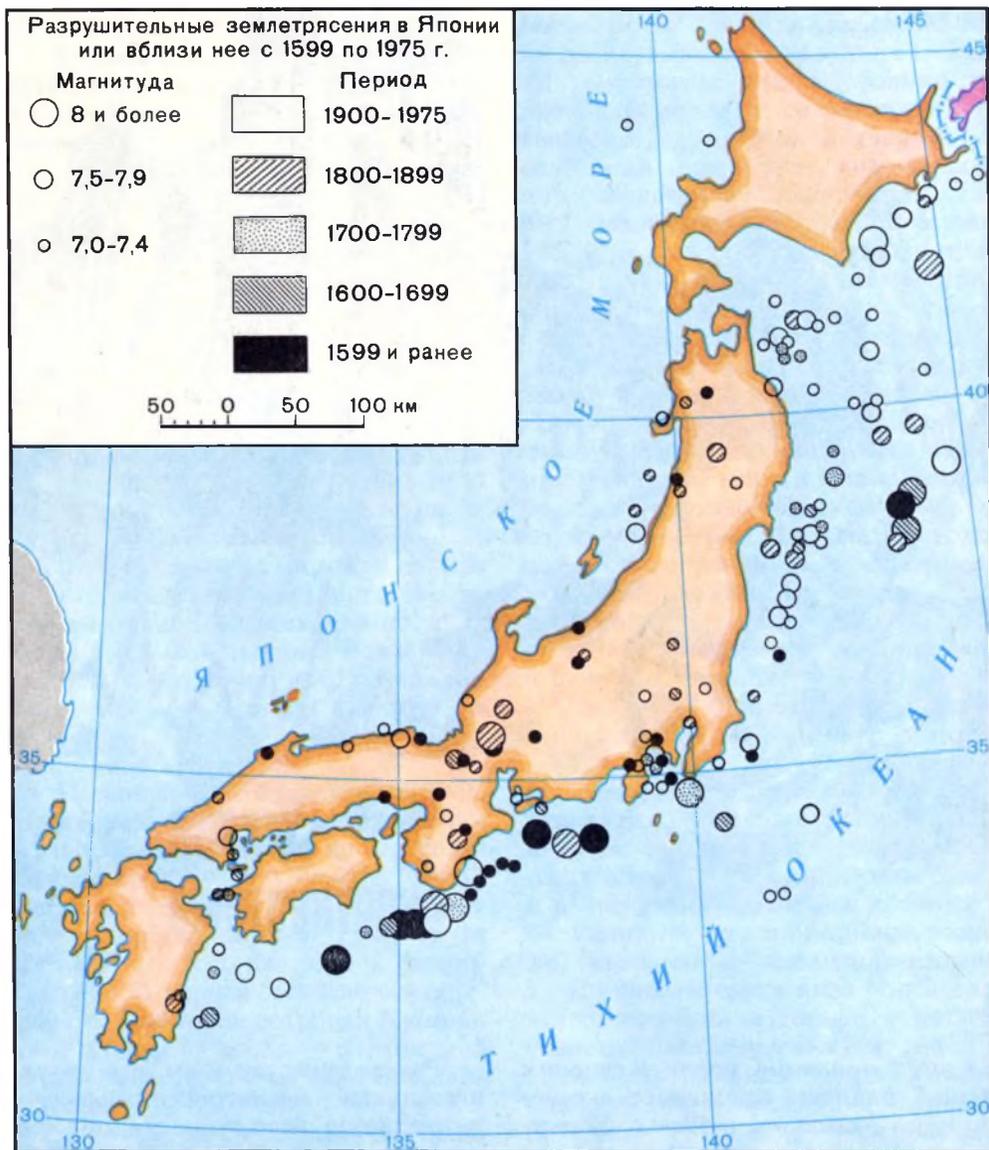


Угроза неотвратима

Почти половина всего населения нашей планеты проживает в сейсмически активных районах. Естественно встает вопрос: что ждет человечество в обозримом будущем? Ведь по официальным данным ЮНЕСКО ежегодно в среднем 15 тысяч человек становятся жертвами землетрясений, материальный ущерб исчисляется сотнями миллионов долларов.

Рассмотрим регионы, где разрушительные землетрясения имеют длительную историю, где подземные бури приносят неисчислимые бедствия и страдания живущим народам.

«Страной землетрясений» часто называют Японию. И это вполне оправдано. В районе Японских островов активность земных недр настолько высока, что в среднем



Сейсмичность Японии (по Б. Боллу)

в год здесь случается 1500 ощутимых подземных толчков. Самые сильные из них в основном возникают в двух гигантских разломах земной коры — Суруга и Сагами,

располагающихся в открытом океане вдоль японского побережья. Это настоящие очаги землетрясений. Именно здесь находился эпицентр крупнейших сейсмических бедствий, опустошавших район между городами Токио и Нагоя

в 1498, 1605, 1707, 1854, 1923, 1944 годах. И в настоящее время специалисты в вопросах сейсмических явлений вновь предполагают в области разломов Суруга и Сагами возможность землетрясений большой силы.

Критическая ситуация в этом районе может быть подтверждена еще одним фактом. В мае 1983 года стремительно начал тонуть остров Кюрокудзимо, расположенный вблизи северного побережья Хонсю. За неделю он опускается в воду на 50 см. Погружение Кюрокудзимы в морскую пучину началось сразу же после происшедшего в этом районе 26 мая 1983 года мощного толчка силой 7,7 балла, в результате которого погибли 100 человек. Движение острова свидетельствует о том, что тектонические силы продолжают свою работу и опасность нового катаклизма увеличивается.

Не миновать, как предполагают сейсмологи, нового крупного землетрясения в столице Японии — Токио. С 1970 года в районе Большого Токио наблюдается прогибание земной коры. Недавно в префектурах, расположенных близ японской столицы, обнаружены 4 постоянно углубляющихся подземных обвала длиной от 3 до 14 км. Появились новые симптомы скопления сейсмической энергии в море у полуострова Босо, также недалеко от Токио. Когда произойдет землетрясение, никто не может точно предсказать.

Однако японские ученые проводят исследования и пытаются с помощью ЭВМ оценить масштабы и последствия предполагаемого землетрясения. Они опасаются, что сила его может быть равна землетрясению 1923 года.

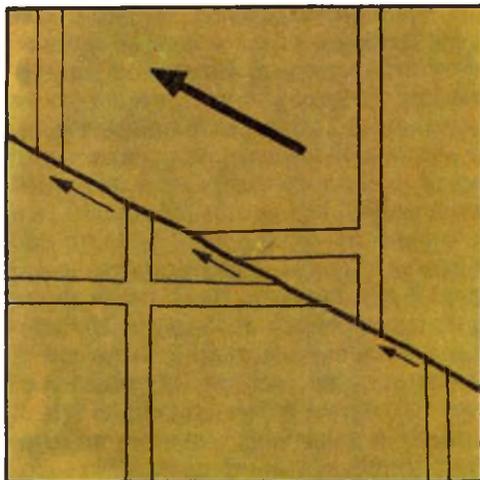


Схема нарушения сети дорог в Мидори (Япония) в результате смещения на 1—4 метра горных пород по разлому во время землетрясения в 1891 году

Смещение слоев горных пород по мелким тектоническим трещинам



Нынешний Токио несравним с тем, каким он был в год «Великого землетрясения в Канто». По размерам территории и по численности населения Токио ныне прочно занимает первое место среди всех столиц мира. Город простирается на 60 км с востока на запад и на 30 км с севера на юг. С 1923 года число жителей Токио увеличилось с 1,5 до 12 миллионов. На 1 км² города в среднем сейчас проживает 15,3 тысячи человек. При такой высокой плотности населения, низкой сейсмостойкости сотен тысяч зданий сильный подземный толчок, по мнению ученых, может превратить Токио в гигантское кладбище.

Огромную опасность представляют токийские небоскребы, скоростные эстакадные дороги, которые могут рухнуть при первом же сильном толчке, загрозив улицы города.

Для предотвращения подземной катастрофы правительство и городские власти Японии осуществляют ряд мер, направленных на то, чтобы насторожить общественность, своевременно оповестить население о приближении бедствия и уменьшить потенциальные разрушения. В окрестностях Токио действует 71 станция по прогнозированию землетрясений. Их массовое сооружение началось в начале восьмидесятых годов, когда японский парламент издал соответствующий закон. 20 таких станций находятся на земной поверхности, остальные — в скважинах, глубоко под землей.

Станции имеют сверхчувствительное электронное оборудование; вся информация, получаемая ими, поступает в специальный центр, где обрабатывается с помощью компьютеров. За пять лет, с середины

1979 года до середины 1984 года, аппаратура станций зарегистрировала 28 тысяч подземных толчков разной силы.

Под постоянное наблюдение взяты родники и ключи, поскольку известно, что при приближении землетрясения в них резко падает напор воды. В физических лабораториях с помощью электронной бомбардировки исследуются образцы скальных пород, дабы по изменению их сопротивления можно будет предсказать приближение подземной бури.

Первого сентября ежегодно (в день «Великого землетрясения в Канто») по всей Японии, особенно в Токио и окружающих его префектурах, проводятся учения с целью научить население правильному поведению во время буйства стихии. В этих учениях, осознавая опасность сокрушительной силы землетрясений, принимают участие миллионы жителей сейсмически опасных районов страны.

И все же, несмотря на все проводимые мероприятия, несмотря на крупные суммы, потраченные на организацию системы предсказания землетрясений (примерно около 100 миллионов долларов за последние десять лет), японская столица и прилегающие к ней населенные пункты не могут быть застрахованы от грозящей катастрофы, так как расположены они в сейсмоопасной зоне.

Подобно Японии «страной землетрясений» нередко называют и Калифорнию — один из наиболее плотно заселенных и богатых штатов США. Калифорния расположена в зоне повышенной сейсмической опасности, где происходят мощные подземные процессы, способные превратить любой из городов штата

в безжизненные руины. Из существующей хроники сейсмических событий известно, что за 200 лет, с 1769 года, на территории Калифорнии произошло около 30 разрушительных землетрясений (магнитудой от 6 до 8,9). И сейчас сейсмографы ежегодно регистрируют в этом регионе до 400 подземных толчков.

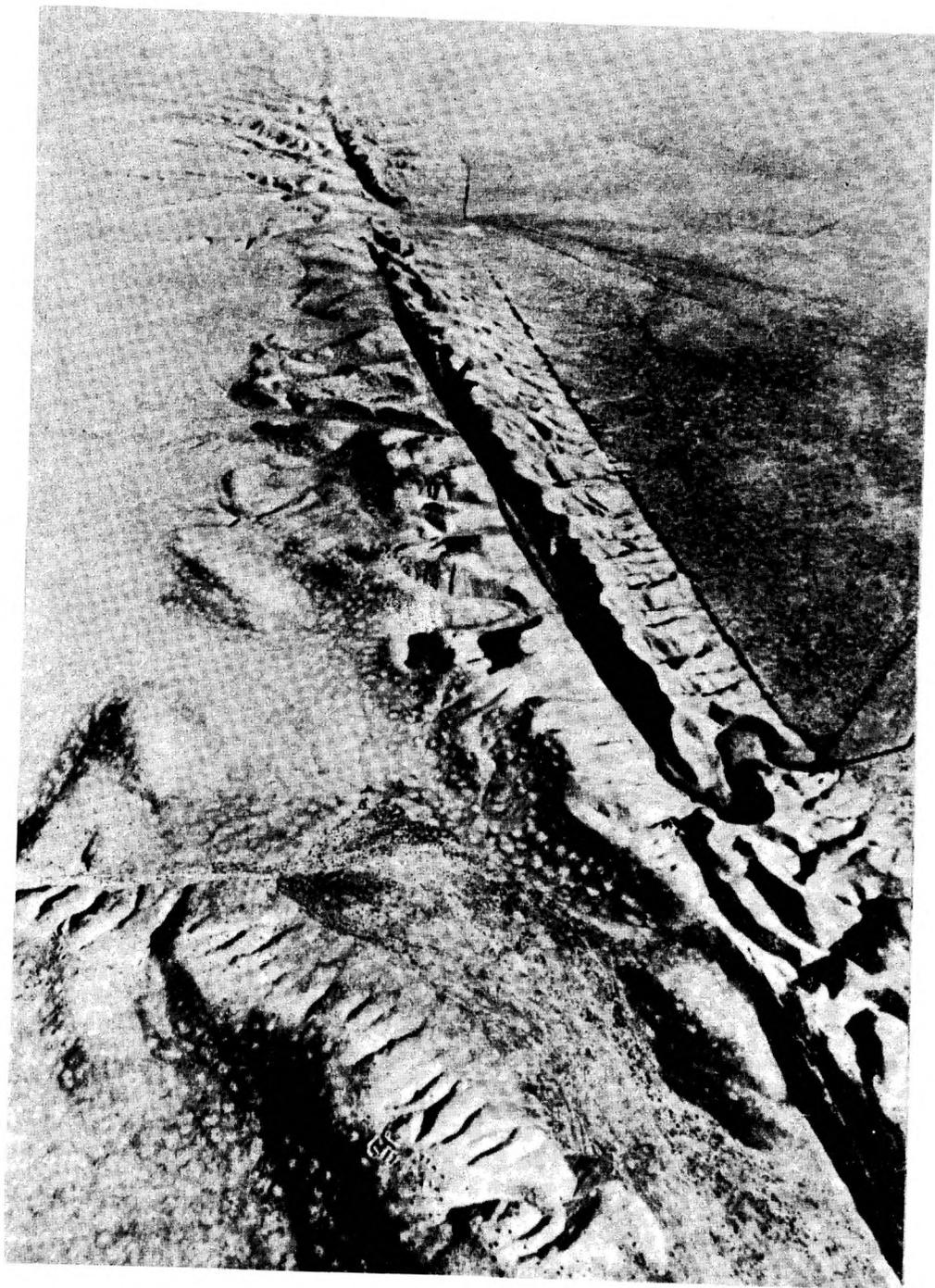
Символом опасности национального значения слывет среди калифорнийцев крупнейший из известных на суше сейсмически активный разлом Сан-Андреас. Возникнув десятки или сотни миллионов лет назад, эта гигантская трещина, местами глубиной более 30 км, рассекает земную кору штата на протяжении около тысячи километров: от Мексики на юге и почти до самой границы Калифорнии с ее северным соседом — штатом Орегон. Именно этот огромный, весьма активный разлом в земной коре постоянно порождает землетрясения, является причиной повседневной опасности для калифорнийцев.

К разлому Сан-Андреас тянутся и периферийные трещины. Наиболее значительными являются материковые ответвления вблизи Сан-Франциско, проходящие через Окленд и Беркли, а также сложные разломы за Лос-Анджелесом, например разлом Гарлок, который простирается вдоль южного края массива Сьерра-Невада. Обычно периферийным трещинам уделяют внимание только тогда, когда они начинают причинять неприятности. Так, трещина Сан-Фернандо, расположенная к северо-востоку от Лос-Анджелеса, вызвала 9 февраля 1971 года значительные колебания земной поверхности. Землетрясение ощущалось на площади 230 тысяч км². Погибло 65 человек, более

1000 получили серьезные ранения, материальный ущерб составил миллиард долларов.

Однако в Калифорнии возникают землетрясения не только на известных разломах. Так, землетрясение 3 мая 1983 года произошло в районе города Коалинги (Центральная Калифорния). В эпицентре, который находился над ранее совершенно неизвестном сейсмологам разломом (долина Сан-Хоаин), сила подземных толчков достигала 9 баллов. Подземные толчки ощущались в течение 10 минут на расстоянии нескольких сотен километров — от Сан-Франциско до Лос-Анджелеса — и были зарегистрированы даже в Лас-Вегасе (штат Невада). За 15 секунд (такова была продолжительность землетрясения) стихия полностью разрушила центральную часть города Коалинга с населением 7 тысяч человек. Многие получили ранения, материальный ущерб превысил 30 миллионов долларов. Прибывший на место катастрофы американский геофизик, профессор Поль Дженнингс сказал: «Приходится только удивляться, как в этом кошмаре никто не погиб». Подземные толчки в районе Коалинги поставили многих сейсмологов США в тупик.

Геофизики Геологического управления США, внимательно следящие за происходящими на территории Калифорнии подземными процессами, констатируют: с 1978 года резко возросла сейсмичность в южных районах штата; количество слабых микроземлетрясений и их сила увеличились за последнее десятилетие в семь раз! Тревожные симптомы отмечают геодезисты и радиоастрономы: одновременное поднятие и опускание, сжатие и растяжение грунта. Появляются



и другие признаки, указывающие на приближение сильной подземной бури. Сегодня наибольшее беспокойство вызывают два южных участка разлома Сан-Андреас. Оба, как считают сейсмологи, вполне созрели и, возможно, даже перзрели для мощного землетрясения. «Катастрофа висит в воздухе, ее можно даже потрогать. Она — наш страх и наше будущее» — так начинается сравнительно не так давно опубликованная статья «Обзор надвигающихся бедствий» американского писателя Артура Эрзога. «Катастрофа обязательно наступит. Единственное, чего мы не знаем, так это срока, когда она произойдет. Под нашими ногами тикает бомба с часовым механизмом...», — говорят американские геофизики.

Основываясь на сопоставлении наблюдаемых явлений с явлениями, наблюдавшимися в яред уже происшедшими многочисленными



Схема района землетрясения в городе Коалинга (Центральная Калифорния)

крупными землетрясениями в Южной Калифорнии, а также на показаниях приборов, Геологическая служба США с довольно большой процентной точностью предсказывает, что сильное землетрясение в штате Калифорния произойдет в течение ближайших 30 лет. В 1983 году степень вероятности катастрофы оценивалась в 5 процентов. С каждым годом этот процент возрастает. Ожидается что к 2010 году вероятность землетрясения на территории Калифорнии достигнет 99 процентов. Специалисты считают, что это будет землетрясение колоссальной разрушительной силы магнитудой 7—8 по шкале Рихтера.

От грядущего землетрясения больше всего пострадают, как полагают ученые, Лос-Анджелес и Сан-Франциско — крупнейшие города, расположенные в зоне действия активных калифорнийских разломов. Так, например, сейсмическая карта района вокруг Лос-Анджелеса напоминает треснувшее оконное



Система разлома Сан-Андреас (Калифорния)

стекло. Общее количество разломов — 42. Проведенное Советом национальной безопасности исследование показывает, что даже при умеренном землетрясении в этом крупном промышленном и финансовом центре США будет разрушено по меньшей мере 40 тысяч зданий, многие останутся без крова, под развалинами домов, в неизбежной панике погибнет большое количество людей, общий материальный ущерб превысит 70 миллиардов долларов.

Еще большей трагедией может обернуться землетрясение для Сан-Франциско. В результате проявленной беспечности и безответственности, как отмечается Комитетом сейсмической безопасности США, на сейсмоопасной территории города оказались атомные реакторы, школы, больницы и жилые небоскребы. Между тем землетрясение 1971 года в Калифорнии, в районе Сан-Фернандо, показало, что даже считающиеся надежными новые здания не гарантированы от разрушений. Известный сейсмолог Теодор С. Олджермиссен рассчитал, что если подземные толчки начнутся во второй половине дня, в пятницу, в часы «пик», когда люди спешат домой после работы, то в Сан-Франциско погибнет свыше 10 тысяч человек, 40 тысяч будет ранено, убытки составят 5 миллиардов долларов.

Другой, более пессимистический подсчет предсказывает, что мощное землетрясение унесет 42 тысячи жизней, а материальный ущерб составит столько же миллиардов долларов.

Третий вариант расчетов напоминает сценарий фильма ужасов. Главную угрозу представляют 14 плотин, сооруженных в заливе

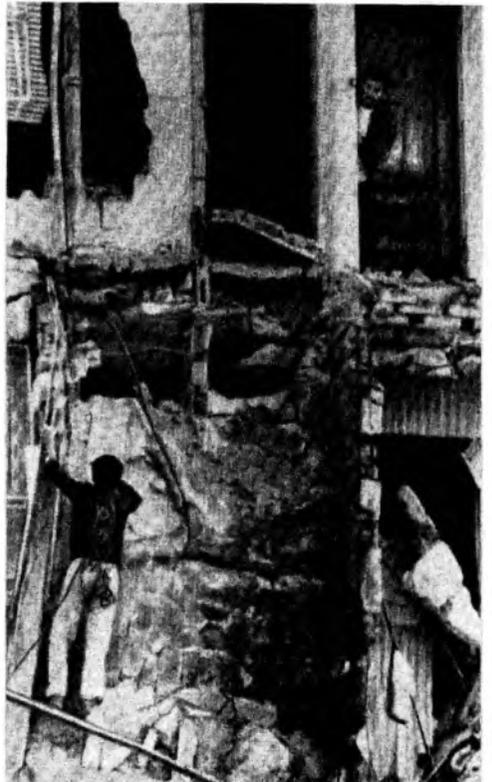
вокруг Сан-Франциско с ирригационными целями. Если, например, в восточной бухте будут разрушены две плотины — Аппер-Сан-Леандро и Чэбот, то от наводнения погибнут 35 тысяч человек. Если же подземных толчков не выдержат шесть главных плотин, то число жертв достигнет 150 тысяч человек. Мощнейшее землетрясение, по силе не уступающее подземной буре 1906 года, пробьет в национальном бюджете США брешь на сумму нескольких миллиардов долларов!

Геологическое управление США в настоящее время изучает возможность оперативного (до десяти дней) прогнозирования землетрясений.

По прогнозу геологической обсерватории Колумбийского университета (США) в течение ближайших десятилетий грандиозное землетрясение силой более 8—10 баллов произойдет на Аляске. Его очаг может находиться неподалеку от маленького населенного пункта Якатага на тихоокеанском побережье, однако колебания почвы охватят обширный район площадью в 45—50 тысяч км². Данный прогноз сделан на основе метода «сейсмических пробелов», в соответствии с которым землетрясение наиболее вероятно в тех местах сейсмически активных зон, где оно не было в течение длительного времени. К числу районов, где в ближайшее время следует ожидать сильную подземную бурю, колумбийские ученые относят Чили.

В один ряд с Японией и Калифорнией по числу и разрушительной силе происходящих землетрясений можно поставить Чили.

Последствия разрушительных землетрясений, происшедших в последние годы





Обвал в горах после землетрясения (Новая Гвинея)

Землетрясение для чилийца — явление обыденное. По крайней мере, каждый третий день чилийцы прерывают разговор или работу, чтобы сказать: «Кажется, опять трясет — нужно закрыть форточку». Чили, вытянувшееся длинной и узкой лентой вдоль Тихоокеанского побережья, 12 раз в столетие переживает трагедию: дома исчезают в разразившихся пропастьях, земля становится на дыбы, реки выходят из берегов, возникают необычайно интенсивные цунами, гибнут десятки, сотни, а иногда и тысячи людей. Причина этому одна: Чили, образно выражаясь, «пряжка на огненном поясе», охватывающем пространство от Новой

Зеландии до Финляндии, от Японии до Алеутских островов и все западное побережье Америки с севера на юг.

В преддверии бедствия живет также раскинувшийся по берегам живописной лагуны город Рабаул — административный центр восточной провинции Папуа — Новой Гвинеи на острове Новая Британия. Дело в том, что Рабаул расположен у подножия гигантской вулканической гряды, протянувшейся на десятки километров. Характерной особенностью здешних вулканов является то, что большинство из них недавнего происхождения. Так, например, в 1937 году на восточном берегу бухты всего за четыре дня вырос огромный конус высотой 230 м. Его рождение сопровождалось интенсивным извержением лавы и мощными подземными толчками, в результате которых погибло 500 человек. В среднем же, как подсчитали ученые, каждые 24 года на острове Новая Британия происходят сильные землетрясения. Последнее было в 1943 году и превратило Рабаул в руины.

Ныне город отстроился и стал главным портом и торговым центром на острове. И вот... новая опасность: начиная с 1980 года сейсмические станции города, ведущие постоянную регистрацию колебаний земной поверхности, отмечают резкое повышение активности вулканов. «Особенно усилились подземные толчки в 1982 и 1983 годах, — рассказывает директор вулканической обсерватории Папуа — Новой Гвинеи, доктор Петер Л. Лунштайн. — В районе Рабаула они держались в пределах 5—6 баллов по шкале Рихтера».

В последнее время отмечается интенсивное лавообразование в верх-

них слоях земной коры, в некоторых местах началось поднятие суши. Маленький остров посреди лагуны за последние три года поднялся на 30 см. Как показали замеры дна бухты, на площади 180 м² идет вспучивание почвы. Все говорит о приближающемся бедствии...

Постоянная опасность землетрясения как дамоклов меч висит над жителями ряда стран, расположенных на юге **Европы**. Чуть ли не каждый год сильная подземная буря обрушивается либо на Грецию, либо на Турцию, Югославию, Италию, Испанию, Португалию, принося людям неисчислимые беды. Среди этих стран одно из первых мест в мире по числу землетрясений и причиненному ущербу принадлежит **Турции**, занимающей большую территорию в пределах сейсмического пояса Гималаи — Средиземноморье. В результате разрушительных землетрясений в нынешнем столетии в Турции погибло около 63 тысяч человек, почти 426 тысяч жилищ превратились в развалины. Проведенными турецкими геологами исследованиями установлено: в минувшие десятилетия сильные землетрясения на территории их страны происходили в среднем один раз в 13 месяцев, наиболее часто — в восточных и южных районах.

Несколько весьма опасных сейсмических зон существует во **Франции**. Это прежде всего долина Рейна в районе города Мюлуз, а также Альпы, Пиренеи, низовья реки

Роны и средиземноморский регион. За последние шесть веков во Франции было около 25 землетрясений — в среднем четыре в столетие. Последнее имело место 11 июня 1970 года между городами Салон-де-Прованс и Экс-ан-Прованс. Очередное землетрясение по прогнозу известного французского вулканолога, специалиста по вопросам предупреждения естественных и технологических катастроф Г. Тазиева произойдет во Франции до конца нынешнего столетия.

Опасным, как полагают американские геологи, остается положение в районах тихоокеанского побережья Мексики и соседней Гватемалы. Здесь, по мнению ученых, можно ожидать новых сильных землетрясений.

В первой половине 1986 года в **Китае** было зарегистрировано 15 землетрясений силой в 5 баллов по шкале Рихтера и два землетрясения силой в 6 баллов. Все эти всплески подземной стихии убедительно говорят о том, что после десятилетнего перерыва Китай вновь вступил в период сейсмической активности. По мнению ученых, он будет продолжаться до конца нынешнего столетия. Таким образом, многие страны мира должны предпринимать меры для уменьшения опасности от подземных катастроф. Земля все еще переживает молодость и не перестает поражать человеческое воображение свирепой мощью землетрясений, разрывающих тело планеты, лишаящих жизни тысячи людей.



Природа землетрясений

Люди с древнейших времен пытались понять причины, порождающие землетрясения, чтобы как-то обезвредить подземную стихию. Но тщетно. Необъяснимость природы подземных бурь, чувство беспомощности перед грозными силами природы, постоянная боязнь мощных подземных толчков породили среди многих народов мира немало мифов, легенд, сказаний, посвященных землетрясениям.

В ряде легенд говорится, что землетрясения вызывали боги. В Древнем Египте — бог Земли, в Древнем Вавилоне и у ассирийцев — бог погоды. Считалось, что библейский бог посылал землетрясения в виде кары за прегрешения людей. В одной из легенд говорится, что Содом и Гоморру он осыпал огнем и серой, перевернул «вверх дном» оба города и всю окрестность вокруг. Видимо, в XIX веке до на-

шей эры Содом и Гоморра действительно были уничтожены землетрясением. Что же касается огня и серы, которые падали на эти города на южном побережье Мертвого моря, то здесь, вероятно, имеется в виду воспламенение газов, выходящих в этих районах из недр Земли, и сгорание битумов.

Во многих странах мифы, народные легенды связывали землетрясения с буйством гигантских чудищ, держащих на себе Землю. В древнем японском сказании упоминается, например, огромный сом (намадзу), который живет под Землей и иногда колотится об нее своим телом, производя землетрясения.

За поведением намадзу следит божество (даймёдзин) с большой каменной колотушкой в руках. Но когда даймёдзин отвлекается от своих обязанностей, намадзу начинает двигаться и Земля содрогается. У индусов виновниками землетрясений считались слон, который держит на своей спине Землю, и крот.

В старой легенде казахов и киргизов говорится, что Земля покоится на огромной рыбе. Землю опоясывает гигантский дракон. На краю ее стоит голубой бык, на одном роге он держит небо. При движениях рыбы происходит землетрясение, если же пошевелится голубой бык, неизбежно наступит конец света.

Первые свободные от мистики представления о землетрясениях возникли в Греции. И это вполне естественно, так как жители этой страны, расположенной на Балканском полуострове, часто были свидетелями извержения вулканов в Эгейском море, страдали от землетрясений, происходивших на берегах Средиземного моря, которые

сопровождались приливными волнами (цунами).

Многие древнегреческие философы пытались объяснить эти природные явления. Например, Аристотель в IV веке до н. э. утверждал, что землетрясения происходят в результате скопления воздуха в многочисленных подземных пещерах, который, стремясь вырваться наружу, вызывает сотрясение земной поверхности.

Страбон заметил, что землетрясения чаще происходят на побережье, чем вдали от моря, и подобно Аристотелю считал, что землетрясения вызываются сильнейшими подземными ветрами, воспаляющими горючие газы.

Долгое время ученые придерживались этой теории. Вместе с тем многие из них, как и вообще большинство людей прошедших времен, продолжали верить, что землетрясения — это божья кара. В стихотворении «Землетрясение», написанном неизвестным автором примерно в 1750 году, эта убежденность выражена следующим образом:

Чья мощна длань в безумной злобе
Так — раз за разом — нас трясет?
Иль воеет пар в земной утробе?
Иль царь морской трезубцем в берег
бьет?

Ах нет! То нечестивцев рать
Земля терпеть уже не в силах.
Спешит злодеев покарать
И вся дрожит, готова им могилу.

Землетрясения еще долго оставались символом ниспосылаемого наказания за человеческие грехи. Широко бытовало мнение, что причины землетрясений всегда будут скрыты во мраке неизвестности, поскольку они возникают на глубинах, слишком далеких от сферы человеческих наблюдений, что предсказание подземных катаклизмов невозможно.

Начало научному изучению природы подземных бурь, разработке методов их прогнозирования было положено советскими учеными. В 1948 году, вскоре после ашхабадского землетрясения, унесшего много человеческих жизней, академики *С. И. Вавилов* (1891—1951) и *Г. А. Гамбурцев* (1903—1955) составили план поиска предвестников землетрясений. Выполнить этот план им не удалось, так как имевшиеся в распоряжении сейсмологов 40 лет назад технические средства не позволяли проводить с необходимой точностью быстро и в большом количестве геофизические измерения. Тем не менее тогда были заложены основы теперешней работы сейсмологов. Через 15 лет ученые США и Японии приступили к составлению аналогичных программ исследований.

Что же достигнуто советскими и зарубежными геофизиками за последние 35—40 лет в изучении природы землетрясений? Как протекает в земной коре, в глубинах планеты процесс подготовки «подземной бури»?

В настоящее время большинство ученых-сейсмологов сходятся на том, что непосредственной причиной землетрясений служит деформация земной коры. Эта деформация вызывает упругие напряжения в горных породах (классификация этих деформаций аналогична классификации, принятой в механике, — деформация типа сжатия, растяжения, изгиба, скручивания и их комбинации). Когда эти напряжения пересиливают прочность горных пород, происходит землетрясение.

Но какие же силы вызывают саму деформацию? На этот узловый вопрос проблемы ученые, к сожалению,

отвечают по-разному. Существует ряд гипотез, диаметрально противоположных, и в этом верный признак того, что истина пока еще полностью не открыта.

Лет пятьдесят назад выдающийся советский ученый *А. Л. Чижевский* (1897—1964) впервые обратил внимание на то, что изменение солнечной активности оказывает огромное влияние на самые разнообразные, в том числе сейсмические, процессы. Недавно последователям Чижевского удалось сделать следующий шаг: конкретизировать механизм этого влияния. Оказывается, это влияние осуществляется через атмосферные процессы. Незадолго до землетрясения происходит резкое изменение атмосферного давления в различных местах земного шара. Например, за три дня до начала крупнейшего чилийского землетрясения в мае 1960 года давление начало расти в западном и одновременно падать в восточном полушарии. Происходила своеобразная перекачка гигантских атмосферных масс из одного полушария в другое. В день землетрясения (21 мая) разность средних давлений между полушариями достигла максимума, а 24 мая давление в обоих полушариях выровнялось. Наблюдения с помощью спутников и ракет показывают, что с усилением солнечной активности атмосфера расширяется, в ней нарушается термодинамическое равновесие. Это в свою очередь вызывает ее перестройку и соответственно нарушает равновесие фигуры Земли. Землетрясение возникает как реакция на это нарушение.

Ученые утверждают, что планетарные переходы атмосферы — необходимое условие возникновения сильных землетрясений в тек-

тонически активных зонах Земли. Они являются как бы своеобразным спусковым крючком.

Отдельные ученые высказывают мысль, что толчком к землетрясению в сейсмоактивной зоне могут стать лунные приливы. Известно, что, когда Луна находится в перигее своей околоземной орбиты (ближе всего к Земле), ее приливообразующая сила на 40 процентов больше, чем в апогее. Именно эти силы согласно лунной гипотезе и вызывают растяжение земной коры, то есть ее деформацию, которая в свою очередь приводит к упругим напряжениям в какой-либо части планеты.

Убедительным примером существующей связи между событиями небесными и подземными, как считают американские астрофизики *Стив Килстон* и *Леон Кнопоф*, являются частые землетрясения, происходящие в Калифорнии. Дело в том, пишут астрофизики, что территорию этого тихоокеанского штата США пересекает большой тектонический разлом, ориентированный по меридиану. Когда Луна вступает в фазу полнолуния, приливное притяжение нашего спутника неравномерно действует на края разлома, вызывая ощутимые напряжения в земной коре. Со временем они накапливаются, порождая подземные бури. Ученые проанализировали все землетрясения, происшедшие в Калифорнии после 1933 года, сила которых была более шести по шкале Рихтера.

Землетрясения меньшей силы оказались никак не связанными с определенным временем суток или определенной фазой Луны. Сильные землетрясения происходили около шести часов утра или вечера, а также в моменты полнолуния

и новолуния, и, что особенно интересно, их период составлял 18,6 года; именно с таким временным интервалом Луна находится в самом северном положении на небе.

Учитывая, что Луна достигала северного предела 12 января 1932 года, а затем в 1950 и 1969 годах, ученые пришли к заключению, что следующее мощное землетрясение в Калифорнии должно было произойти в ноябре 1987 года.

Ряд ученых недоверчиво относятся к лунной гипотезе, мотивируя свои сомнения тем, что корреляция землетрясений с восходом и заходом Луны во многих случаях не проявилась. «Тут может быть,— указывал известный советский геофизик, член-корреспондент АН СССР *Е. Ф. Саваренский*,— не причинно-следственная связь, а простое совпадение. Например, в Ташкенте в 1966 году часть повторных толчков совпала с соответствующими фазами Луны, а другая часть — нет. Словом, четкая связь еще не установлена».

Существует гипотеза о том, что землетрясения происходят в результате взаимодействий электрического и магнитного полей Земли. Авторы этой гипотезы полагают, что именно взаимодействие этих полей влияет на движение земной коры и тем самым на ее сейсмичность. Однако, как считают многие сейсмологи, энергетическое воздействие этих сил незначительно и землетрясение, как таковое, они вызвать не могут. Разве что когда-нибудь, в исключительном случае, могут сыграть роль «спускового механизма».

Ну, а коль подземные бури не вызываются внешними влияниями на земную кору, стало быть, корни явления — в самой Земле.

В последнее время все большую и большую популярность в объяснении причин, вызывающих землетрясения, завоевывает так называемая «теория тектоники литосферных плит» (плитотектоника). Суть этой теории заключается в том, что привычная для нас твердая и жесткая земная кора — литосфера — в действительности представляет собой шаткое покрывало из ряда блоков — пластин (иначе — плит), подобных гигантским льдинам, теснящимся в замерзшем море. Глыбы-платформы медленно плывут, перемещаются относительно друг друга по астеносфере — поверхностному слою мантии. На некоторых литосферных плитах-гигантах покоятся континенты, сложенные из более легкой породы; они дрейфуют вместе с платформой, меняя расположение. Там, где громадные, жесткие дрейфующие пластины соприкасаются, трутся друг о друга и сталкиваются, поднимаются горные хребты, извергаются вулканы, происходят землетрясения...

Плитотектоника, или, как ее еще называют, новая глобальная тектоника, — это, образно говоря, геометрия сферической поверхности в действии.

Новая теория возникла не на пустом месте. Географы уже давно заметили: если вырезать на глобусе контуры Африки и Южной Америки, а потом соединить их вместе, они совпадут, словно части составной картины-загадки. А если вырезать сделать не по береговой линии, а по очертаниям шельфа — мелководья, окружающего материки, — сходство еще больше увеличивается. Исходя из этого, английские ученые уже давно предложили гипотезу континентального дрейфа, согласно которой в далеком прош-

лом Южная Америка и Африка составляли единый континент. Но одно дело — выдвинуть гипотезу, а другое — найти для ее подтверждения такой источник энергии, который был бы достаточно мощным, чтобы отделить Южную Америку от Африки на расстояние 4,5 тысячи км.

В середине XVII века француз Франсуа Пласе утверждал, что Старый и Новый Свет впервые разделились во время сорокадневного потопа, описанного в Библии. Отголоски этой идеи встречались еще в начале XIX века даже в высказываниях известного немецкого естествоиспытателя, одного из основоположников современной геофизики и гидрографии — Александра Гумбольдта.

Первым, кто взял на себя смелость научно объяснить, почему континенты движутся, и убедительно обосновать гипотезу дрейфа материков, был немецкий ученый Альфред Вегенер (1880—1930). Будучи по профессии метеорологом, а также аэронавтом и полярным исследователем, Вегенер принадлежал к той редкой категории людей, которые склонны к обобщениям и в своих далеко идущих построениях не боятся воспользоваться достижениями отраслей науки, казалось бы, далеких от основной специальности. Вегенер, как и некоторые его предшественники (*Френсис Бэкон, А. Снайдер-Пеллигрини, русский ученый-самоучка Е. В. Быханов* и др.), был поражен удивительным сходством очертаний окраин континентов, ныне разделенных Атлантическим океаном.

Вот как вспоминает *А. Вегенер* в своей книге «Происхождение материков и океанов» (вышла в свет в 1915 году, в русском переводе

была издана в 1925 году) об обстоятельствах рождения идеи дрейфа континентов: «В 1910 году мне впервые пришла в голову мысль о перемещении материков... когда, изучая карту мира, поразила сходством очертания берегов по обе стороны Атлантического океана. Но тогда я не придавал этому значения, так как не считал такое перемещение возможным. Осенью 1911 года я познакомился (благодаря ряду справочных сведений, случайно оказавшихся в моем распоряжении) с палеонтологическими данными о прошлой сухопутной связи между Бразилией и Африкой, о которых я раньше не знал. Это побудило меня проанализировать результаты тех геологических и палеонтологических исследований, которые имели отношение к этому вопросу. Изучив эти данные, я убедился в принципиальной правильности своей идеи».

Формальная реконструкция расположения континентов в геологическом прошлом, проведенная путем сближения до наилучшего совпадения очертаний их окраин, позволила А. Вегенеру предположить, что в начале мезозоя, около 230—200 млн. лет назад, все материки были сгруппированы в единый гигантский континент — Пангею (от греческих слов *пан* — всеобщий и *гео* — Земля).

Этот суперконтинент первоначально раскололся на две части. На севере была Лавразия, состоявшая из древнего континента Северной Америки плюс Европа и Азия. На юге была Гондвана (по названию одного из геологических районов Индии, населенному народностью гондов), состоявшая из

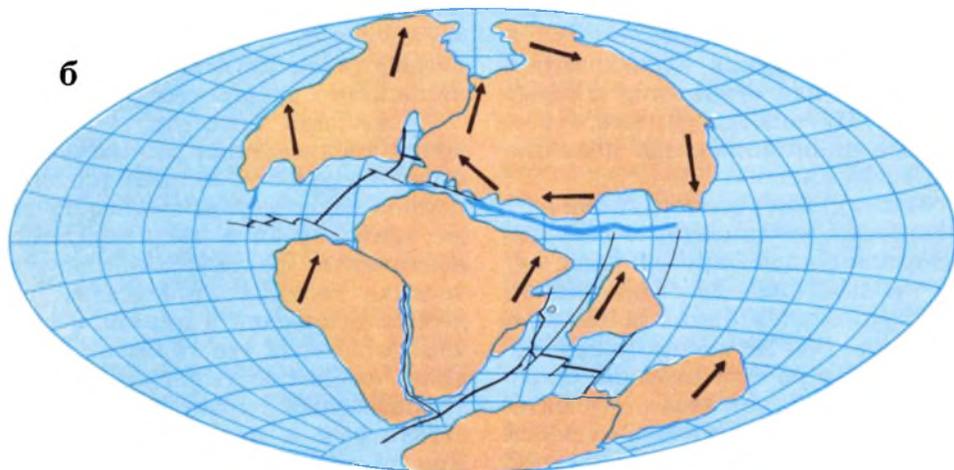
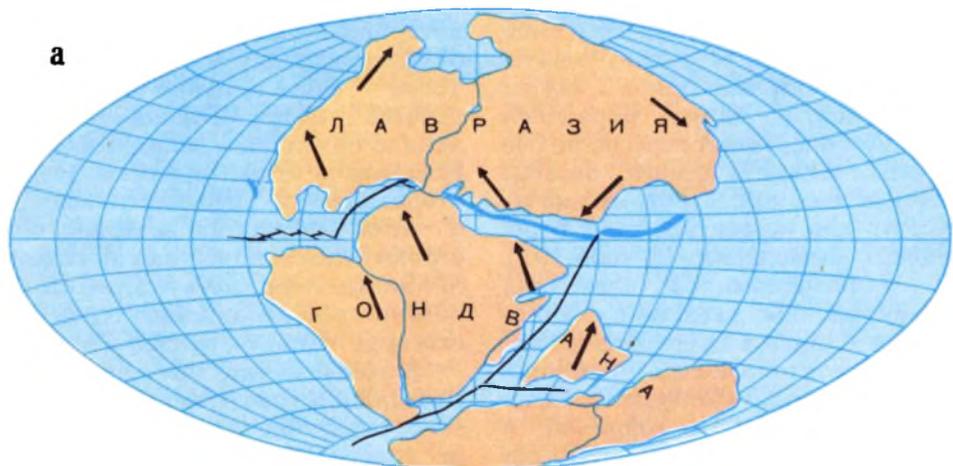
Африки, Южной Америки, Антарктики, Австралии и Индии, которая в то время лежала далеко к югу от Азии. Между ними было море Тетис — часть великого океана Панталасса¹. Затем Южная Америка начала отходить к западу. Африка отделилась от Антарктики. Индия оторвалась и переместилась на 8 тысяч километров севернее. Она столкнулась с Азией около 40 млн. лет назад. В результате этого столкновения вздыбилось Тибетское плоскогорье и образовались Гималаи.

В объяснении же движущей силы, движущего механизма, так сказать мотора, который перемещает целые материки, Вегенер полагал, что осколки Пангеи движутся к экватору под непрерывным воздействием удаления от полюсов, вызванного вращением Земли.

Благодаря простоте и наглядности предложенной А. Вегенером модели движения материковых глыб, а главное убедительности ряда приводимых в защиту дрейфа континентов фактических, геологических, геоморфологических, палеонтологических и палеоклиматических данных эта гипотеза завоевала симпатию многих ученых.

Известный советский геолог, стратиграф и палеонтолог, академик А. А. Борисяк (1872—1944) еще в начале 20-х годов по достоинству оценил выход в свет книги А. Вегенера как «крупнейшее явление среди геологической литературы». Но было и немало яростных противников гипотезы А. Вегенера, и прежде всего среди консервативно мыслящих геологов — так называемых фиксистов, твердо руководствовавшихся представлением о неизбывном расположении материков.

¹ Панталасс — слово придумано по аналогии: «таласс» по-гречески означает «океан».

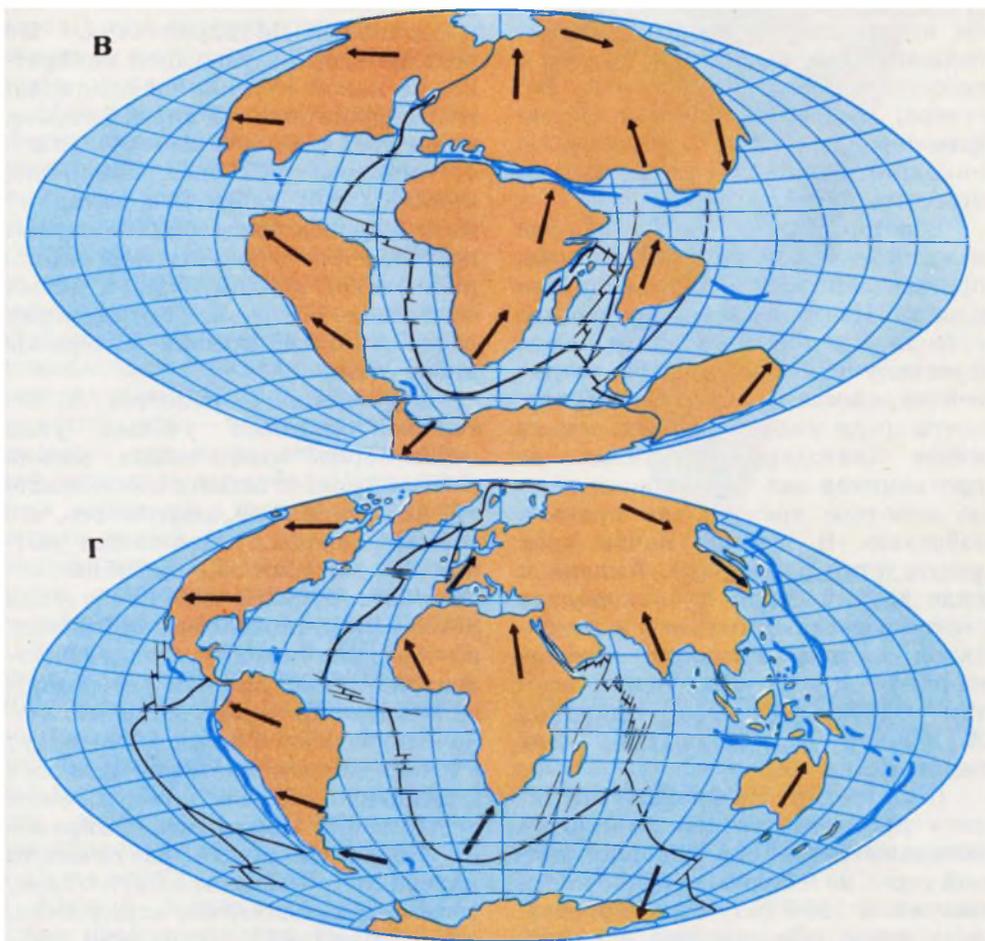


Положение материков в различные геологические эпохи: *а* — 180 млн. лет назад; *б* — 135 млн. лет назад; *в* — 65 млн. лет назад; *г* — современное

В ряде статей, опубликованных именитыми фиксистами, гипотеза Вегенера была подвергнута осмеянию, именовалась не иначе как сумасбродная. В противоположность отзыву академика А. А. Бо-

рясика в 20-х годах нашего века президент авторитетного Американского философского общества в Филадельфии назвал всю концепцию дрейфа континентов «совершеннейшей чепухой».

В работах, посвященных эволюции геологических процессов, происходящих в земной коре и на земной поверхности на протяжении долгой истории планеты, известный



советский геолог, академик *А. Л. Яншин* отмечал, что «...в гипотезе дрейфа материков было одно уязвимое место, на которое никто вначале не обратил внимание. Вегенер предполагал, что ниже земной коры, под всеми материками, существует слой сильно разогретого и если не расплавленного, то, во всяком

случае, пластичного материала, по которому и плавают материковые глыбы... Но в начале тридцатых годов впервые в Северной Америке и у нас, на территории СССР, с помощью взрывов было произведено глубокое сейсмическое зондирование, которое показало, что ниже поверхности Мохоровичича¹ лежат

¹ Мохоровичича поверхность — граница раздела между земной корой и мантией Земли.

не пластичные вещества, а твердые скальные породы...». Этим открытием не преминули воспользоваться геодезисты и высказали мысль о несостоятельности гипотезы А. Вегенера, ибо «...по твердым скальным породам никакого скольжения, никакого плавления материков происходить не может».

В истории науки не раз старые концепции брали верх над новыми, прогрессивными, революционными идеями. Нечто подобное произошло с теорией о тектонике плит. Хотя поначалу гипотеза дрейфа континентов завоевала большую популярность среди многих ученых, тем не менее благодаря стараниям ее противников она через сравнительно короткое время была предана забвению. В течение почти трех десятилетий в Америке, Англии и ряде других стран публиковались статьи известных геологов и геофизиков о необходимости поисков каких-то других объяснений всем тем фактам, которые приводил А. Вегенер в обоснование своей гипотезы.

Шли годы. Геофизики научились просвечивать сейсмическими методами не только подошву земной коры, но и более глубокие части мантии. В 1953 году было произведено новое сейсмическое зондирование Земли. Ученым удалось заглянуть значительно глубже, чем двадцать лет назад, под поверхность Мохоровичича. Результаты этого глубокого сейсмического зондирования оказались сенсационными: в верхней мантии, как выяснилось, действительно существует слой сильно разогретых пластичных пород!

Открытый слой получил у геофизиков название «астеносферы Земли» (от греческого *asthenēs* —

слабый). Правда, оказалось, что он расположен намного глубже, чем поверхность Мохоровичича. Но ведь Вегенер не указывал конкретно, на какой глубине он предполагает подошву земной коры. Главное, в чем убедились ученые: существует астеносфера; она, бесспорно, является тем слоем, по которому может происходить горизонтальное перемещение огромных масс, крупных блоков земной коры и целых материков. К середине семидесятых годов гипотеза дрейфа материков вновь ожила.

Возродившись, гипотеза А. Вегенера усилиями ученых ряда стран обрела много новых, весьма весомых доказательств своей правоты. Так, например, выяснилось, что горные породы, содержащие магнитные материалы, способны запоминать древнее магнитное поле Земли. Восстановление такого поля по образцам пород с разных континентов и по магнитным аномалиям на океанах привело к исключительно интересному и важному выводу: с течением времени положения всех континентов на поверхности Земли существенно изменялись. Опираясь на собранный новый фактический материал о земном магнетизме, ученые довольно точно определили, когда откололись и начали удаляться друг от друга различные части Пангеи: Северная Америка и Африка разделились 180—200 млн. лет назад, утверждают ныне геологи, а Северная Америка разделилась с Европой всего лишь 80 млн. лет назад.

Геологи Массачусетского технологического института (США) и университета Сан-Паулу в Бразилии, используя методику датировки с помощью радиоизотопов, сопоставили слои горных пород в западной час-

ти Африки и на восточном побережье Южной Америки. Горные породы и их возраст совпали точно, вплоть до месторождений железной руды, олова и золота!

Много замечательных открытий, убедительно подтверждающих достоверность гипотезы дрейфа континентов, сделали палеонтологи США, Англии, СССР, Исландии и других стран. Так, одной из поистине величайших ископаемых находок всех времен ученые считают обнаруженные в конце 60-х годов новозеландской экспедицией в Транс-антарктических горах останки лабиринтодонта — земноводного, названного так из-за лабиринтовидной структуры его зубов. Появление этих животных в свое время знаменовало новый этап эволюции, поскольку они были первыми животными, выбравшимися из воды и начавшими осваивать сушу около 350 млн. лет назад. В 1970 году американские исследователи в 600 км от Южного полюса (в районе, где скалы и обрывы свободны ото льда) нашли множество останков рептилий, представлявших фауну, которая в сущности была идентичной фауне, существовавшей в ту же эпоху, 200 млн. лет назад, в Южной Африке. Преобладающими представителями были рептилии, которые подобно небольшим гиппопотамам целыми стадами барахтались в пресноводных водоемах. Трудно себе представить, чтобы лабиринтодонты либо рептилии, которые все являлись наземными или пресноводными животными, могли проплыть тысячи километров по самому бурному на Земле океану, разделявшему Африку и Антарктиду. Остается единственный вывод: в какой-то отрезок времени триасового периода Ан-

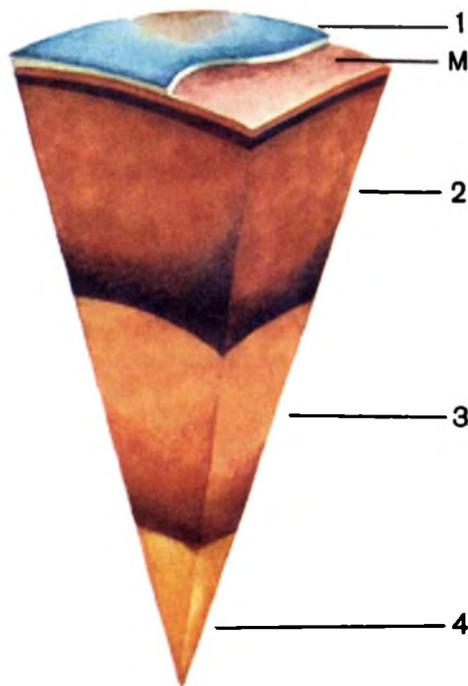


Схема внутреннего строения Земли: М — поверхность Мохоровичича; 1 — земная кора; 2 — мантия (до глубины 2900 км); 3 — внешнее ядро (2900—5000 км); 4 — внутреннее ядро (R Земли — 6370 км)

тарктида составляла единое целое с Африкой.

В конце 70-х годов американская экспедиция обнаружила в Антарктиде отпечатки зверька, напоминающего крысу, скелет двухметрового пингуина, рептилии — так называемого плезиозавра, челюсти самок сумчатых животных, которые, как полагают ученые, обитали здесь 50 млн. лет назад. В горах Элсуэрта (на западе Антарктиды) в толще осадочных пород исследователи обнаружили окаменевшие остатки 20 видов моллюсков, которые могли существовать только в водах тропических

морей. По мнению специалистов, возраст осадочных пород достигает 600 млн. лет. Это доказывает, что когда-то Антарктида была расположена ближе к экватору и была частью гигантского праматерика Гондвана.

Новым подтверждением существования гипотетического материка Гондвана, а следовательно и вегнеровской гипотезы дрейфа континентов, стал опубликованный итог многолетних исследовательских работ аргентинского палеонтолога *Мариа Агирре Уретта*. Ученый тщательно изучил останки древних морских животных мелового периода, найденные в Патагонии на крайнем юге Латинской Америки и в Зулуленде на восточном побережье Южной Африки, и обнаружил, что они имеют множество идентичных признаков. Открытие, сделанное Агирре Уретта, является серьезным подтверждением с точки зрения палеонтологии уже полученных геологами и геофизиками доказательств того, что в мезозое Южно-Американский, Африканский, Индийский и Антарктический материка были единым суперконтинентом Гондвана, который согласно осуществляемой гипотезе раскололся в конце юрского — начале мелового периода, т. е. около 130 млн. лет назад. Аргентинский исследователь считает, что путем сравнения морских ископаемых можно определить более точное время раскола.

Новейшие научно-технические средства, появившиеся во второй половине нашего века, позволили ученым проникнуть в тайны глубин океанов, ранее совершенно недоступных. Обнаружилось, что по дну всех океанов единой лентой

протянулся гигантский срединно-океанический хребет. Его размеры оказались поистине грандиозными: длина достигает в общей сложности примерно 65 тысяч км, ширина у основания — около 2 тысяч км, а возвышение над окружающими глубоководными котловинами — около 4 км. Почти по всей его длине вдоль гребня протянулась так называемая рифтовая долина. Там обычно наблюдаются повышенные тепловые потоки из земных недр и частые мелкофокусные землетрясения. Во многих местах срединно-океанический хребет рассечен огромными поперечными разломами — сдвигами размером в тысячи километров. На окраинах океанов обнаружили отрицательные формы рельефа дна — длинные узкие желоба огромной глубины (до 9—11 км), окаймленные с континентальной стороны цепочками вулканов островных дуг, под которыми наклонно опускаются зоны глубоководных землетрясений.

Так, в ходе активного изучения прошлого и настоящего нашей планеты, гипотеза дрейфа континентов претерпела значительную модернизацию и переросла в фундаментальную теорию тектоники литосферных плит, новую глобальную тектонику. За каких-нибудь 10—15 лет новая глобальная тектоника произвела подлинную революцию в науках о Земле.

Тем не менее нельзя не отметить, что есть еще геологи, продолжающие по-прежнему упорно отстаивать представления о неподвижном (фиксированном) положении всех континентов и практически полностью отвергающие горизонтальные движения в земной коре.

Весомый вклад в развитие идей мобилизма, теории тектоники лито-

сферных плит внесли, и это сейчас общепризнано, многие советские геологи и геофизики (*П. Н. Кропоткин, А. Н. Храмов, В. Е. Хаин, А. В. Пейве, С. А. Ушаков, С. А. Глушков, Л. П. Зоненшайн, Ю. И. Галушкин, Л. И. Лобковский, А. П. Лисицин, А. А. Ковалев* и др.). Так, академик *А. В. Пейве* и его сотрудники убедительно доказали, что Евразия является составным континентом. Восточно-Европейская и Сибирская платформы, Казахстанский, Среднеевропейский и другие массивы 800—300 млн. лет назад были малыми континентами, которые впоследствии соединились в один массив.

А. Н. Храмов был первым советским геофизиком-магнитологом, который использовал новые палеомагнитные данные для определения параметров движения континентов и подтвердил крупные перемещения материков в течение всего фанерозоя, т. е. около 600 млн. лет назад.

Особенно внушительный вклад в развитие теории тектоники литосферных плит внесли советские океанологи, разработав теорию глубинных процессов, вызывающих движение плит, одними из первых выяснили природу срединно-океанских хребтов, дали геохимическое объяснение базальтового магматизма на океанском дне, разработали модели строения океанских литосферных плит и зон их поддвига, изучили процессы растягивания океанских осадочных пород под островные дуги и активные окраины континентов.

Теория тектоники литосферных плит охватывает геологическое развитие всей планеты.

Новая глобальная тектоника заставляет заново переосмыслить

многие прежние фундаментальные положения геологии (в частности, побуждает пересмотреть сложившиеся взгляды на внутреннюю структуру нашей планеты), дает возможность с единых позиций по-новому взглянуть на эволюцию жизни на Земле и на происхождение человека.

Велико значение новой теории и непосредственно для практических целей. С ее помощью объяснено образование богатейших месторождений чилийской меди, боливийского олова, урана и золота Южной Африки, крупных месторождений нефти и газа в Персидском заливе, а также в Скалистых горах в США, алмазов в Якутии, бокситов Тихвинского месторождения, угля в Западной и Восточной Сибири, фосфоритов в Монголии и т. д. Все это подтверждает прогностические возможности теории тектоники литосферных плит. Ее можно уже и сейчас широко использовать при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых.

Новая теория позволяет прогнозировать на миллионы лет вперед местоположение непрерывно движущихся континентов, наносить на карту завтрашний рельеф Земли, прогнозировать грядущие перемены климата на земном шаре. С практической точки зрения важно, что плитотектоника дает вполне удовлетворительное объяснение того, как возникает большинство землетрясений, позволяет определить в настоящем и будущем расположение зон максимальной тектонической, сейсмической и вулканической активности.

Согласно новой глобальной тектонике (естественно, в самых общих чертах) верхняя жесткая оболочка Земли — литосфера — состоит из

7—8 гигантских плит неправильной формы¹. Это Тихоокеанская, Северо-Американская, Южно-Американская, Африканская, Евразийская, Индийская (Индостанская, Индо-Австралийская) и Антарктическая плиты. В несколько раз меньше по размерам плита Наска, но она также, как правило, причисляется к крупным плитам. Кроме названных, существует еще несколько десятков малых плит. Толщина крупных плит — от 10 до 80 км под океанами и 200—300 км на континентах, а горизонтальные размеры достигают 10—15 тысяч км.

Эта система плит, как показывают географические наблюдения, не является постоянной, а испытывает постепенное изменение. Жесткие, спокойные внутри глыбы-платформы, скользя по пластичным внутренним слоям Земли, находящимся в почти постоянном, очень медленном движении, перемещаются под воздействием конвекционных течений, поднимающихся из высокотемпературных глубин. Таким образом, границы между плитами являются геологически активными зонами. Одни плиты двигаются навстречу друг другу и иногда даже перекрываются, другие расходятся в стороны, третьи скользят вдоль границ в противоположных направлениях. Каждый тип этих движений порождает определенный тип разломов, и все они вызывают тектонические землетрясения.

Взглянув на карту, на которой

нанесены сейсмически активные зоны, нетрудно заметить, что ни одна из линий эпицентров не имеет непрерывного линейного простира-ния: все они нарушены прерывистыми горизонтальными смещениями. Последние соответствуют особому роду горизонтальным сдвигам, которые возникают между двумя блоками земной коры. На обоих своих концах сдвиги меняются, трансформируются в результате образования вдоль хребта нового океанского дна. Такие сдвиги называются трансформными разломами², и вдоль них наблюдается много землетрясений.

Пока дрейф плит проходит беспрепятственно, землетрясения бывают слабыми. Но когда плиты надвигаются друг на друга и их движение тормозится, тогда горная порода, образующая громады-блоки, начинает деформироваться. В ней, как в пружине, накапливается упругая энергия, тем большая, чем больший объем охвачен деформациями, пока не будет превзойдена прочность горной породы. Как только это происходит и порода начинает разрушаться, блоки получают возможность подвигаться скачками, а титаническая энергия, накопленная в породе, освобождается в виде сейсмических волн — происходит сильное землетрясение. Наиболее впечатляющим примером взаимного движения плит может послужить район, охватывающий Калифорнию и прилегающую к ней часть Тихого океана. Тихоокеан-

¹ Число таких главных плит зависит от того, какой характерный линейный размер плиты и какую скорость их относительного смещения выбрать за начальные.

² Трансформный разлом — разлом со смещением по простираению, соединяющий концы отрезков срединно-океанического хребта, островной дуги или горных цепей на краях континентов; вдоль трансформных разломов пары соседних плит проскальзывают одна относительно другой.

ская плита перемещается на северо-запад относительно Северо-Американской. Часть последней, Калифорния, была оторвана от континента Тихоокеанской плитой и перемещается теперь вместе с ней, что является причиной землетрясений вдоль известного разлома Сан-Андреас, обозначающего собой границу между плитами. Происходят и будут продолжаться землетрясения и в Никарагуа, территория которой расположена над разломом, постоянно находящимся в движении.

Аналогичные разломы можно увидеть в Новой Зеландии, и на Филиппинах, и в печально известной своими многочисленными землетрясениями Турции. Половина наиболее сильных землетрясений приурочена в Турции к протягивающейся с востока на запад кривой линии, которая повторяет зону Анатолийского разлома. Эта зона крупных трещин представляет собой границу между огромной, расположенной на севере Евразийской плитой и сравнительно небольшим Турецким блоком, зажатым между Евразией и другой крупной плитой, на которой находится Африка.

Характерная особенность зоны Анатолийского разлома (протяженностью тысяча километров) заключается в том, что движение масс горных пород осуществляется почти вдоль всей длины разлома. Сейчас по Анатолийскому разлому идет горизонтальное движение: южный блок смещается к западу примерно на 10 см в год. Эту линию нарушений можно проследить западнее — в Эгейском и Балканском районах и восточнее — в сейсмических зонах Ирана.

Самой опасной зоной в настоящее время, по мнению ученых,

является восточный участок. Предполагается, что здесь уже длительное время накапливаются значительные напряжения, которые, превысив сопротивляемость горных пород, в недалеком будущем вызовут новые сильные землетрясения.

По-иному складывается сейсмическая ситуация в том случае, если две плиты сталкиваются фронтально. В зоне столкновения одна плита напозлазает на другую. Если столкновение происходит на дне океана, то там образуется глубоководная впадина, глубина которой может превышать 10 тысяч метров. А если одна тектоническая плита как бы заплывает, ныряет под другую и уходит на глубину (как правило, ныряет та плита, на которой нет континентального массива, состоящего из более легкого материала, который как понтон держит край и не дает ему погрузиться), это сопровождается аккомпанементом сильных землетрясений. Такого рода активность, например, наблюдается вдоль побережья Чили и Перу.

Там, где сталкиваются две плиты, несущие на себе вместе с участками морского дна и континенты, очень плотные и тяжелые морские породы опускаются в глубь Земли, а более легкие, материковые, выдавливаются вверх. В результате сильнейшим образом меняется земной рельеф, образуются могучие складчатые горы. Именно таким образом образовались Альпы, Уральские горы и Аппалачи.

Альпы поднялись в результате столкновения Африки с южной оконечностью Европы. Уральские горы образовались, когда исчез океан, разделявший Европу и Азию, в результате чего столкну-

Основные плиты, слагающие земную кору, и распространение современных действующих вулканов





- Трансформные разломы
- Направление перемещения плит

лись эти два колоссальных земных массива.

Аппалачи сформировались в итоге сужения предшественника Атлантического океана (подобно нынешнему сужению Тихого океана), которое продолжалось до тех пор, пока не наехали друг на друга противоположные берега океана.

До сих пор Индия, которая еще 45 млн. лет тому назад была самостоятельным континентом, давит на Центральную Азию, до сих пор растут Гималаи и Гиндукуш. Их рост сопровождается сильнейшими землетрясениями. Это же давление распространяется и на большие районы Китая, где землетрясения не так уж давно (1976 г.) повлекли за собой самые многочисленные жертвы в мире.

Итак, начавшееся сотни миллионов лет назад перемещение материковых плит, гор, равнин, низменностей, океанов относительно друг друга продолжается. Проведенные за последние 25 лет сейсмические наблюдения с помощью непрерывно совершенствующейся сейсмометрической техники позволили накопить большой объем информации о сейсмической активности (сейсмичности) различных районов Земли. Анализируя распределение землетрясений в пространстве и во времени, известный американский геофизик *Б. Болт* в своей книге «Землетрясения» пишет: «Большинство землетрясений возникает на окраинах плит: поэтому мы делаем вывод, что те же глобальные, или тектонические, силы, которые создают горы, рифтовые долины, срединно-океанические хребты и

глубоководные желоба, те же самые силы представляют собой и первичную причину сильных землетрясений»¹.

К сожалению, природа этих глобальных сил в настоящее время не совсем ясна. Мы пока еще не все знаем о процессах, вызывающих движение плит. Ряд ученых в рамках плитотектонической теории считают подобно Болту, что появление сил, движущих континенты, несомненно, обусловлено температурными неоднородностями в теле Земли — неоднородностями, возникающими благодаря потере тепла путем излучения в окружающее пространство, с одной стороны, и благодаря добавлению тепла от распада радиоактивных элементов, содержащихся в горных породах, — с другой². Однако в последнее время концепцию конвекции в мантии сменили модели, основанные на гравитационной неустойчивости. Для разрешения этого узлового вопроса геологи, геофизики и другие специалисты продолжают исследования тектоники плит.

Проблема современных движений земной коры занимает заметное место в деятельности Международного геодезического и геофизического союза (МГГС). По инициативе советских ученых в 1960 году в составе этой организации была образована постоянная комиссия по изучению движений земной коры. В настоящее время, используя лазерную и другую измерительную технику, способную регистрировать перемещения в несколько миллиметров, спутники Земли и современные ЭВМ, ученые ряда

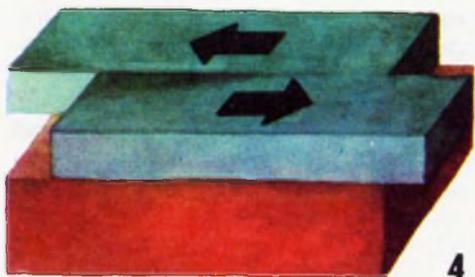
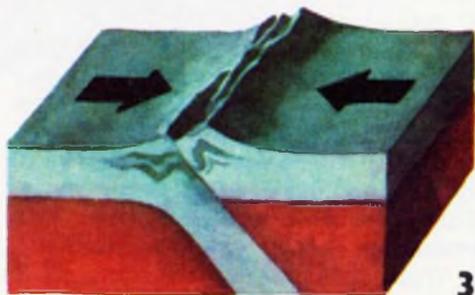
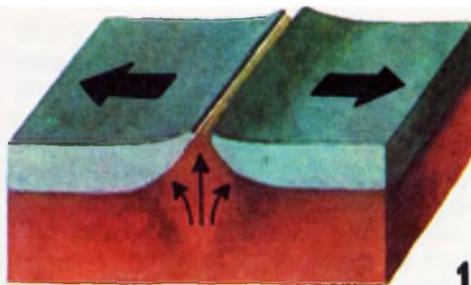
¹ Болт Б. Землетрясения. — М., 1981. — С. 65—66.

² Там же.

стран внимательно следят за дрейфом континентов, выясняют общие закономерности движения плит, уточняют географию сейсмически активных зон земного шара.

Проведенными измерениями установлено: плита, несущая на себе Европу, движется со скоростью 1—1,5 см в год; немного быстрее (1,5—2,2 см в год) дрейфует Южная Америка; остров Мадагаскар отделяется от Африки. Медленно, но неотвратно, примерно на 6 см в год, сокращается расстояние между находящимися по разные стороны геологического разлома американскими городами: Лос-Анджелес примерно через 20 млн. лет очутится там, где ныне находится Сан-Франциско. На три сантиметра в год уходит на север Аравийский полуостров. Постепенно удаляется, как показали недавние гидрологические исследования, остров Сицилия от Апеннинского полуострова. После пятилетних научно-исследовательских работ эксперты космического агентства НАСА (США) установили, что Атлантический океан ежегодно расширяется на 1,5 см, а Гавайские острова за это же время подплывают к Американскому континенту на 5 см.

Но самое интересное, пожалуй, заключается в том, что массивы суши не просто ходят ходуном, продолжая однажды начатый дрейф. Среди теперешних матери-



Типы движения плит: 1—литосферные плиты раздвигаются; расплавленные породы поднимаются вверх; 2—одна плита поддвигается под другую; часть расплавленных пород поднимается, образуя островную дугу; 3—столкновение плит; в результате происходит образование пояса высоких гор; 4—трансформный разлом

ков есть и такой, что грозит расколоться на две глыбы, подобно своей прародительнице Пангее. В восточной части Африки с севера на юг тянется система рифтовых трещин. В 1969 году по обе стороны эфиопской линии рифта ученые установили сеть приборов для точного измерения расстояний между избранными точками. Последующие измерения показали: ежегодно ширина рифтовой трещины увеличивалась в среднем на несколько сантиметров! Если так процесс пойдет и дальше, то через 50 млн. лет Африка потеряет свою восточную часть.

Нависла угроза и над Италией. Геологи высказывают печальную мысль, что для плиты, несущей на себе эту страну, нет больше места на поверхности земного шара. Она втиснута в щель между двумя континентальными плитами, которые сминают ее, как воск. Формирование Апеннин еще далеко не закончено, в ближайшие сотни миллионов лет возникнут новые горные цепи. В далеком будущем итальянский сапог ударится о побережье Югославии. Предвестники этого процесса — землетрясения. Только в одном в 1978 году, считавшемся относительно спокойным, в Италии было зарегистрировано более четырехсот землетрясений.

Любопытные расчеты произвели на ЭВМ в 1983 году геологи Массачусетского технологического института (США). По прогнозу компьютера не останется на месте Северная Америка. Шаг за шагом она будет перемещаться на запад и в

конце концов сомкнется с Азией там, где сейчас находится Берингов пролив.

В Азии беспокойнее всего будет вести Индостанский полуостров. В своем стремлении сместиться к северу он заставит Гималаи неужели расти ввысь.

Наиболее консервативной окажется Европа. Даже Англия и Скандинавский полуостров не проявят склонности к путешествиям в течение ближайших 150 млн. лет. Иную картину будущего лика Земли нарисовал известный английский специалист в области геологии и палеонтологии *Дугал Диксон*: через 50 млн. лет Африка, Евразия, Австралия и Северная Америка объединятся в один континент, а Южная Америка будет представлять собой громадный остров!

Конечно, расчеты американских ученых и выводы английского геолога относительно будущего расположения нынешних материков всего лишь гипотезы.

Важно другое: ныне предпринимаются не единичные попытки предсказать, как будет протекать во времени, исчисляемом десятками миллионов лет, процесс дрейфа литосферных плит. Это свидетельствует о том, что наука, изучающая этот процесс, достигла сегодня уровня, позволяющего обобщать различные факты, выявлять аналогии между разнородными явлениями, строить физические и математические модели, иными словами, создавать некие теоретические представления о прогнозируемом процессе.



ПОЗЫВНЫЕ СТИХИИ

Тяжелые последствия землетрясений торопят науку в ее стремлении помочь человечеству обезвредить грозную стихию, обуздать мифического властелина подземного мира Плутона, чей гнев, словно злой рок, преследует человечество на протяжении всей его истории.

Что же может наука сегодня противопоставить подземным бурям? Каковы ее реальные возможности в предотвращении трагедий,

связанных с внезапными землетрясениями?

В принципе, считают некоторые ученые, предотвратить землетрясение можно путем своевременной профилактики — снятием напряжения в горных породах прежде, чем произойдет катастрофа. Впервые эту идею сейсмологам подсказал случай.

В 1962 году неподалеку от Денвера (штат Колорадо, США) на

заводе, производящем вооружение, в целях сохранения окружающей среды начали закачивать жидкие химические отходы в скважину глубиной 3670 м. Закачка производилась с 8 марта 1962 года до сентября 1963 года. Через месяц после начала закачки в районе Денвера, всегда считавшемся низкосейсмичным, совершенно неожиданно стали происходить многочисленные землетрясения.

С апреля 1962 года по сентябрь 1963 года местные сейсмические станции зарегистрировали здесь более 700 толчков! Магнитуда колебалась от 0,7 до 4,7. С сокращением закачки число землетрясений заметно уменьшилось, но после ее возобновления сейсмическая активность стремительно вернулась к прежнему уровню. По сейсмическим наблюдениям за период с декабря 1965 года по март 1966 года регистрировалось 10—20 микроземлетрясений в сутки с магнитудами до 3,7. Эпицентры располагались в области примерно эллиптической формы длиной 8 км и шириной 3 км с центром в скважине. Глубина очагов колебалась от 4,5 до 5,5 км.

В сентябре 1969 года закачка была прекращена по требованию жителей Денвера, но землетрясения продолжали происходить. Более того, они усилились, магнитуда подземных толчков составляла 5,4 при глубине 4—5 км (что близко к параметрам известного ташкентского землетрясения 1966 года).

В чем дело? Поскольку корреляция между количеством закачанных отходов и числом землетрясений была очевидной, сейсмологи высказали предположение: в денверском феномене жидкость сыграла роль смазки, стимулировавшей

движение массивов горных пород. Догадка требовала подтверждения. Условия денверского землетрясения многократно воспроизводились на большом числе нефтяных скважин. В них закачивали и из них выкачивали воду и измеряли паровое давление в породах. Одновременно была развернута специальная сеть сейсмографов, которые могли контролировать сейсмическую активность в данном конкретном районе.

Эксперименты подтвердили догадку о том, что закачивание воды под давлением в глубокие скважины способствует движению заклинившихся горных пород (когда паровое давление жидкости достигло некоторой пороговой величины, сейсмическая активность возрастала; при откачке воды давление падало, сейсмическая активность уменьшалась).

Так случайно обнаруженный денверский феномен, продемонстрировавший решающее значение воды в возбуждении резких подвижек в глубине земной коры, породил идею о возможности путем возбужденной сейсмичности уменьшать вероятность возникновения и даже предотвращать возникновение сильного землетрясения. Для практической реализации этой идеи разработано несколько проектов. Все они в основном сводятся к тому, что в тех случаях, когда в том или ином районе начинает увеличиваться напряжение в горных породах, необходимо пробурить там глубокие (до 10 км) скважины внутрь разломов и накачивать в них воду. Таким способом можно вызвать, как считают некоторые сейсмологи, возникновение слабых землетрясений, снизив тем самым энергию деформации, накопившуюся в коре в данном районе.

Предполагается еще один, более радикальный, как считают некоторые специалисты, способ профилактики назревающих землетрясений. Речь идет об использовании ядерных взрывов в качестве искусственных толчков, которые могли бы заранее снизить напряжения в земной коре того или иного сейсмически активного района.

Этот смелый проект, равно как и предлагаемый способ управления землетрясениями с помощью закачки воды в глубокие скважины, в настоящее время вполне осуществимы. Однако далеко не все ученые разделяют идею предотвращения подземных бурь с помощью искусственно возбуждаемых землетрясений. Дело в том, что вмешательство в природные процессы, как известно, всегда сопряжено с определенной опасностью, а порою и с большим риском.

Трудно рассчитать и с необходимой точностью предсказать все возможные геологические и сейсмические последствия искусственного снятия напряжений, достигших критических значений, в горных породах. Нет никакой гарантии в том, что все будет развиваться так, как задумано, как хотелось бы. Не исключено, и скорее даже возможно, что спровоцированное землетрясение будет вовсе не ослабленным, а столь же мощным, как и естественное.

И все же ученые не оставляют мысли об активном воздействии на очаг землетрясений путем закачки воды в глубокие скважины и ядерными взрывами и продолжают вести исследования в этом направлении. Практическое осуществление идеи предотвращения землетрясений — захватывающая перспектива. Известный советский

физик, академик *М. А. Садовский* говорит, что в будущем ученые смогут воздействовать непосредственно на очаги. К примеру, если точно знать, где накопилась сейсмическая энергия, можно пробурить в этом месте скважину, закачать в нее воду под большим давлением или опустить в нее мощный заряд и взорвать его. Добавочные напряжения в породе, вызванные накачкой воды или взрывной волной, превысят ее прочность и вызовут землетрясение. Таким образом, можно избежать самого страшного — внезапного удара.

Но время не ждет. Поскольку наука пока не располагает действенными средствами для укрощения буйствующей подземной стихии, остается одно — научиться предсказывать, прогнозировать сейсмическую погоду, и как можно точнее, с тем чтобы можно было заблаговременно оповестить население того или иного сейсмоопасного района о приближении подземных бурь и принять необходимые меры, позволяющие исключить человеческие жертвы и свести к минимуму материальный ущерб.

Научиться точно прогнозировать землетрясения — одна из важных социальных и экономических проблем науки, одна из самых древних проблем. Она так же стара, как и само человечество. Однако, как это ни парадоксально, многие годы среди ученых господствовало мнение, что прогнозирование землетрясений — удел писателей-фантастов. Еще совсем недавно предсказанием землетрясений не занимались серьезно. Широкомасштабных научных исследований по прогнозу подземных бурь не велось. Даже в такой высокосейсмичной стране, как Япония, где люди давно страдают

от губительных землетрясений, лет 20—25 назад, по свидетельству известного геофизика, профессора Токийского университета *Т. Рикитакэ*, сейсмологам даже говорить о предсказании землетрясений не полагалось.

Но все течет, все изменяется. К шестидесятым годам произошел коренной перелом во взглядах на решение проблемы прогнозирования землетрясений. Тема предсказаний землетрясений, как отметил в своей книге «Катастрофы» английский профессор *Т. Уолтхэм*, наконец перешла от прорицателей и религиозных фанатиков к ученым. Во многом этому способствовало прежде всего осознанное понимание того, что жизненно важно как можно быстрее научиться оценивать сейсмический риск, связанный со строительством крупных промышленных комплексов, энергетических объектов, интенсивным заселением новых городов, возводимых во многих сейсмоопасных регионах земного шара, периодически подверженных сильным землетрясениям. Не менее важную роль в обращении сейсмологов, геофизиков, геологов, физиков и других ученых к проблеме предсказания землетрясений сыграло и то, что к рассматриваемому времени сформировалась теория тектоники плит, удовлетворительно объясняющая, как возникает большинство землетрясений, расширилась мировая сеть сейсмологических

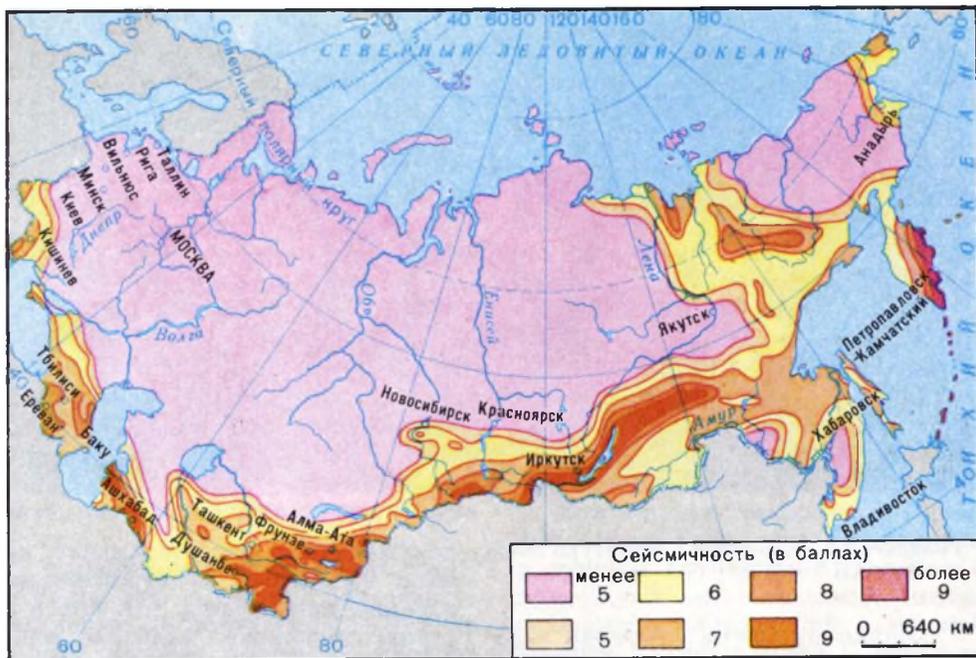
обсерваторий (к 1960 году во многих странах действовало около 700 сейсмостанций). Значительно пополнился арсенал инструментальной сейсмологии новыми, более совершенными измерительными приборами, электронно-вычислительными устройствами и другой техникой, позволяющей производить на более высоком уровне геофизические измерения, собирать, систематизировать и автоматически обрабатывать данные наблюдений, материалы экспериментов, проведенных как в природных, так и в лабораторных условиях.

Наибольший размах научные исследования по прогнозу землетрясений с начала 60-х годов приняли в СССР, Японии, КНР и США. В постановке и развитии проблемы прогноза в нашей стране условно можно выделить три главных этапа:

1. Формулировка главнейшей задачи в сейсмологии и определение основных путей ее решения (инструментальное изучение самих землетрясений и поиск предвестников) связаны с именами *А. П. Орлова*, *И. В. Мушкегова* и *Б. Б. Голицына* (конец XIX— начало XX в.в.).

2. Постановка впервые в мире комплексных работ по прогнозу под руководством академика *Г. А. Гамбурцева*, в результате которых были определены на многие годы вперед конкретные направления исследований¹ (конец 40-х — начало 50-х годов XX в.).

¹ Вскоре после ашхабадской катастрофы под руководством академика *Г. А. Гамбурцева* (1903—1955) была разработана программа широких геофизических поисков — предвестников землетрясений, но выполнить ее не удалось, главным образом потому, что имевшиеся тогда в распоряжении сейсмологов технические средства не позволяли производить с необходимой точностью, быстро и в большом количестве геофизические измерения. Тем не менее были заложены основы теперешней работы сейсмологов. Через 15 лет ученые США и Японии приступили к составлению аналогичных программ исследований.



Карта сейсмического районирования СССР

3. Возрождение проблемы и развертывание с 1964—1965 годов по инициативе и под руководством академика *М. А. Садовского* широкого фронта работ в масштабе всей страны: от создания специальных прогностических полигонов до разработки физических основ и моделей процессов разрушения больших горных масс.

В настоящее время научные исследования, направленные на решение проблемы прогнозирования землетрясений, ведутся под руководством Института физики Земли АН СССР практически во всех союзных республиках, расположенных в сейсмических зонах (Узбекской, Казахской, Киргизской, Таджикской, Туркменской ССР) и в Курило-Камчатском районе.

В Японии прогностическими исследованиями занимаются Японское метеорологическое агентство,

Сейсмологический институт, Институт геофизических исследований. Создан координационный комитет по прогнозу землетрясений. В США работа по сейсмическому прогнозу в основном ведется в Калифорнии в районе разлома Сан-Андреас, где имеется опасность повторения разрушительного землетрясения.

В КНР над решением проблемы прогнозирования подземных бурь работают три института Китайской академии наук: Институт геофизики, Институт геологии и Институт инженерной механики в Харбине; в реализации намеченной программы исследований принимает участие также Пекинский университет.

Как же обстоят дела с прогнозом землетрясений сегодня?



Ташкентская обсерватория института сейсмологии АН Уз ССР

Общая проблема прогноза землетрясений состоит из трех взаимосвязанных частей: предсказания места землетрясения, его силы (магнитуды) и времени возникновения (момента сейсмического толчка).

Первые две части проблемы — прогноз места и максимальной силы землетрясений объединенно успешно решаются сейсмическим районированием территории. Пионерами в этом деле являются советские геофизики. Они первыми разработали методы сейсмического районирования, которые получили мировое признание¹. На их основе составлены карты сейсмического районирования всей территории СССР. Они являются нормативным

документом, обязательным для всех проектных и строительных организаций страны, так как в их основу положены наиболее совершенные методы оценки степени сейсмической опасности той или иной территории, а также новый подход к оптимизации всего комплекса антисейсмических мероприятий, направленных на максимальное повышение безопасности строящихся объектов за счет наиболее эффективного использования имеющейся информации о сейсмической жизни конкретного района. Все это позволяет экономно расходовать огромные средства, отпускаемые государством на сейсмическое строительство, уменьшать материальный ущерб, если подземная буря все-таки разразится.

Однако не следует думать, что проблема сейсмического райони-

¹ Достижения советских ученых в этом плане во многих странах приняты за образец. Рекомендации, разработанные в Советском Союзе, нашли отражение, например, в отчетах сейсмологических миссий ЮНЕСКО, обследовавших в 60-х годах многие страны Азии, Южной Америки, Африки, Австралии и Европы, а также в отчете по Балканскому сейсмическому проекту ЮНЕСКО в 70-х годах.

вания уже полностью решена. К сожалению, систематическая регистрация землетрясений с необходимой точностью проводится всего лишь несколько десятилетий, в то время как сами процессы подготавливаются медленно — столетиями, тысячелетиями. Образно говоря, весь период наблюдений мы потратили на исследование одного мгновения в истории развития какого-нибудь землетрясения. А так как землетрясения принадлежат к явлениям случайным, повторяются по времени и месту редко, то никто из составителей карт сейсмического районирования не может уверенно сказать, что в них учтены все опасные зоны.

Характерный и весьма прискорбный пример — Газлийские девятибалльные землетрясения 1976 года в зоне, которая до этого считалась практически асейсмичной (на самом-то деле, как оказалось впоследствии, территория, на которой разразилась подземная буря, была недостаточно подробно изучена в сейсмогеологическом аспекте; к тому же сейсмологи не придали должного значения некоторым опасным симптомам).

Такого рода просчеты возможны и в будущем. Многие очаговые зоны, постоянно действующие в геологическом масштабе времени, еще не обнаружены. Имеются так называемые немые районы. Иногда данные сейсмической опасности меняются со временем (это относится, например, к отдельным участкам трассы БАМ, где вечная мерзлота начинает оттаивать после строительства). Поэтому советские ученые постоянно уточняют карты сейсмической активности. Ведется работа по сейсмическому микрорайонированию. Совершенствуются ме-

тоды составления карт, применяемая техника. Впереди предстоит затратить еще много труда и времени, чтобы нанести на карты не только баллы интенсивности, возможные для данной местности, но и выявить свойства грунтов, их водонасыщенность, трещиноватость скальных оснований и другие параметры, могущие служить непосредственной основой для надежного сейсмостойкого строительства жилых и промышленных комплексов, для разработки методов долгосрочного прогнозирования подземных бурь в районах, где сейсмическая активность заведомо высока.

Итак, карта сейсмического районирования, даже самая надежная, в лучшем случае дает сведения о возможной максимальной интенсивности землетрясений и средней частоте их повторения в какой-то зоне. Она содержит необходимые элементы прогноза, но самого прогноза обеспечить не в состоянии, так как не говорит о конкретных ожидаемых событиях. В ней отсутствует главнейший и важнейший элемент прогноза — предсказание точного времени, в течение которого произойдет землетрясение.

Поэтому сейсмологи ищут уже не один год симптомы будущих землетрясений, те признаки, которые могли бы стать предвестниками подземной бури.

А что следует понимать под предвестниками? В самом общем смысле это необычные, аномальные явления, которые можно заметить и зарегистрировать перед землетрясением.

Для выявления, распознавания аномальных явлений, предшествующих землетрясениям, осуществляется мониторинг (постоянное слежение) за меняющимися во



Наблюдение за сейсмической активностью

времени (или неизменными) физическими состояниями в рассматриваемой области. Характерная особенность мониторинга, отличающая его от других исследований, — это густая сеть станций, оборудованная значительным количеством аппаратуры на большой площади. Для более эффективного действия это множество станций обычно объединяется в единую систему, а для быстрой обработки данных используется ЭВМ. Как правило, в дополнение к фиксированной сети станций используются еще и подвижные полевые партии.

Целенаправленный поиск предвестников подземных бурь позволил ученым ряда стран за последние 20—25 лет выявить ряд прог-

ностических признаков, которые могут свидетельствовать о назревающих землетрясениях. Так, геодезические съемки (измерения) показали, что в отдельных случаях за несколько месяцев, недель, дней или часов перед крупными землетрясениями происходит заметная деформация земной поверхности (в одном из сейсмоопасных районов Японии трехкилометровое расстояние между опорными пунктами за год увеличилось на 115 см).

В некоторых случаях наблюдаются аномальные наклоны земной коры перед сильными толчками. Но этот эффект проявляется на малых расстояниях от эпицентра, и в большинстве случаев его наблюдение чрезвычайно осложнено вследствие различных помех. В последние годы для регистрации смещений, которые могут быть одним из предвестников землетрясений, начали применять ряд новых высокоточных методов. Один из них, основанный на астрономических наблюдениях, предложили американские ученые. На расстоянии около 200 км были установлены два высокочувствительных радиотелескопа, настроенные на прием радиоизлучения квазаров. В связи с тем что эти космические объекты расположены на огромных расстояниях, в несколько миллиардов световых лет, их можно считать относительно Земли практически неподвижными. Определяя разницу в моментах регистрации сигналов одного и того же квазара двумя радиотелескопами, можно обнаружить ничтожные изменения расстояния между ними за счет смещения земной коры, недоступные другим методам исследований. Разработана также специальная лазерная система, предназначенная



для обнаружения сдвигов почвы, способная обнаруживать смещения в одну тысячную долю миллиметра.

Некоторым землетрясениям предшествуют изменения микросейсмичности, что обычно выражается в появлении форшоков. О форшоках перед главным толчком сообщалось издавна. Даже в те далекие времена, когда еще не велись инструментальные наблюдения. Время этого предвестника колеблется от нескольких минут до сотен дней. Появление форшоков легко распознать, если область долго была сейсмически неактивной. Напротив, в сейсмически активной области отделение форшоков от других ложных толчков (например, от роя микроземлетрясений, который не сопровожда-

ется никаким главным толчком) обычно затруднено.

Изучение современных движений земной коры с помощью специальной лазерной системы

есть никаким главным толчком) обычно затруднено. Научиться распознавать записи форшоков, как считают некоторые ученые, дело настоятельно необходимое, «поскольку похоже, что большинству землетрясений... предшествуют форшоки»¹. Однако отдельные специалисты полагают, «что микросейсмическая активность связана скорее с крупными землетрясениями, происшедшими десятилетиями ранее, чем с будущими землетрясениями»².

В последние годы большую популярность в научном мире приоб-

¹ К а с а х а р а К. Механика землетрясений.— М., 1985.— С. 227.

² Ш е й д е г г е р А. Физические аспекты природных катастроф.— М., 1981.— С. 49.

рел метод прогнозирования землетрясений по аномалии изменений скорости объемных сейсмических волн перед сильным толчком. В основе его лежит регистрация расширения горных пород вдоль зоны разлома в земных недрах, когда напряжение в них достигает критической точки. В результате разрывов в насыщенных водой породах образуется множество крошечных полостей. Это замедляет скорость прохождения через породы продольных волн (волн давления), которые идут быстрее по трещинам, наполненным водой. На другой тип сейсмических волн, так называемых поперечных волн или волн

В горном районе Таджикистана расположена сейсмическая обсерватория, где чувствительные приборы контролируют перемещения участков земной коры



сдвига, образование новых трещин оказывает малое влияние. Таким образом, резко нарушается обычное соотношение скоростей волн давления и волн сдвига.

Затем, по мере того как подземные воды постепенно заполняют образовавшиеся трещины, это соотношение восстанавливается до нормального. Однако в результате проникновения воды увеличивается давление внутри горных пород и они как бы смазываются, в результате чего одна сторона разлома скользит вдоль другой. Именно это перемещение и ощущается на поверхности как подземный толчок.

Взаимодействие волны давления с волной сдвига, на котором основана техника прогнозирования землетрясений, впервые было открыто советскими учеными. Работа в Гармском районе Таджикистана, ученые заметили, что за 2—4 недели до подземного толчка отношение скоростей сейсмических волн понижалось на 12—15 процентов. Затем незадолго до первого толчка оно приходило в норму. Об этом открытии советских ученых американские специалисты услышали в 1971 году.

Важность открытого феномена не ускользнула от их внимания, и они решили поискать подобные сдвиги скоростей волн на сейсмографах, установленных на севере штата Нью-Йорк в районе озера Блю-Маунтин. В дополнение к уже существующей постоянно сейсмологической станции ученые установили в различных точках еще семь портативных сейсмографов и ежедневно снимали показания приборов. Усилия ученых не пропали даром. 1 августа 1973 года главе сейсмологической группы Колумбийского университета по телефону было сообщено, что по произведен-

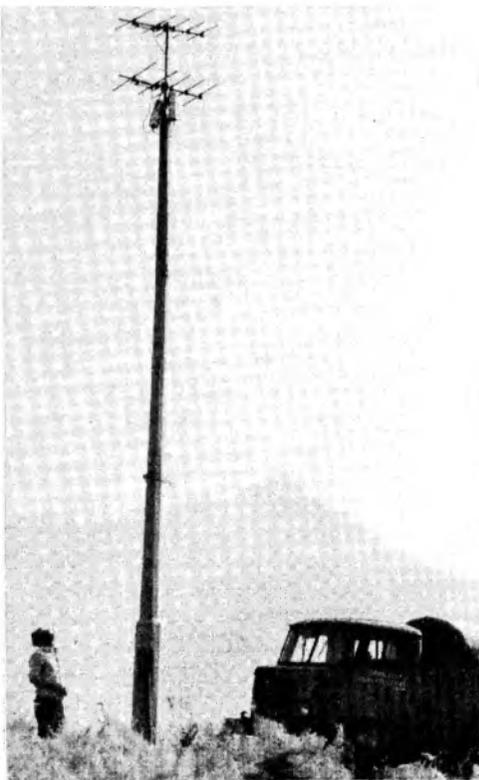
ным расчетам через пару дней следует ожидать землетрясения силой 2,5 или более балла.

Два дня спустя земные недра заколыхались: было зарегистрировано землетрясение в 2,5 балла по шкале Рихтера!

Позднее взаимодействие волн давления с волнами сдвига удалось наблюдать перед землетрясением в Японии и под Лос-Анджелесом (США). И многие исследователи заключили, что этот феномен широко распространен и что в сочетании с другими геологическими явлениями он поможет сейсмологам в конце концов точно назвать заранее время, место и силу многих землетрясений во всех районах мира. Однако оказалось, что этот предвестник не совсем надежен. В частности, это констатировала конференция Геологической службы США, состоявшаяся 22—24 сентября 1976 года и посвященная главным образом проблеме землетрясений.

Японские сейсмологи в течение 10 лет с помощью высокостабильных, чувствительных протонных магнитометров наблюдали заметные изменения геомагнитного поля в районе Ниигаты перед землетрясением ($M=7,5$) 1964 года. Аномальные изменения магнитного поля наблюдались также учеными американского Национального центра сейсмологических исследований примерно за два месяца до землетрясения ($M=5,3$), происшедшего 28 ноября 1974 года вблизи Холлистера (штат Калифорния).

Аналогичные данные были получены при изучении ташкентского землетрясения. Его подготовка и возникновение напряжений в горных породах сопровождалась местными аномалиями магнитного по-



Высокогорная автоматическая сейсмическая станция

ля, которые исчезали после подземных толчков. Имеются сообщения о геомагнитных предвестниках и из КНР.

Выявлена также связь между возникновением повторных толчков при землетрясении и изменениями магнитного поля Земли. Этот факт, очень важный для прогнозирования подземных бурь, установили ученые Института геофизики и инженерной сейсмологии АН Армянской ССР. Записи, которые производились ими в эпицентрах землетрясений, свидетельствуют, что перед каждым повтор-

ным толчком интенсивность магнитного поля резко возрастает.

Известно, что в земной оболочке постоянно циркулируют так называемые теллурические токи. В результате длительных наблюдений перед отдельными землетрясениями были выделены сравнительно короткопериодные (десятки минут — часы) и длиннопериодные (многосуточные) возмущения электротеллурического поля (ЭТП). Возмущения ЭТП с периодом 10—40 минут наблюдались на территории Азербайджана при землетрясениях с эпицентральной дистанцией до 300 км ($M=4-6$), на Камчатке при удалении эпицентров землетрясений ($M=5,5$) от станций наблюдения до 250 км и на Кавказе ($M=5,3$) на расстоянии 35 км. В отдельных случаях возмущения для различных станций проявлялись несинхронно. Это, в частности, указывает на возможность возбуждения аномалий вторичными источниками вблизи станций наблюдений. Небезынтересно отметить, что изменение ЭТП фиксируется также при заполнении водохранилищ. Однако они быстро затухают с удалением от берега.

На приближение подземной бури не раз указывало уменьшение удельного электрического сопротивления горных пород в разное время в зоне подготовки землетрясения в разных регионах земного шара. В частности, кратковременные изменения электросопротивления наблюдались в Японии и долговременные — в СССР и США. Об этом предвестнике имеется значительное количество и китайских данных. Для окончательного суждения об эффективности этого предвестника нужны дальнейшие исследования, но в настоящий момент, как полагают специалисты, он

представляется обнадеживающим.

Предвестниками подземных бурь иногда бывают различные световые эффекты, электрическое свечение, наблюдаемые перед землетрясением. Одно из первых документальных свидетельств об этом замечательном феномене относится ко времени Древнего Рима, к 373 году до н. э. В Египте, в Индии, в Южной Америке, в Европе — где только ни пугали людское воображение огневые чудеса, сопутствующие содроганиям матушки-земли! Для убедительности ознакомили читателя со свидетельствами, касающимися только текущего века.

В 1911 году при землетрясении в Германии в безоблачном небе возникли огненные шары.

В 1923 году (землетрясение в Токио) из-под земли струился огненный туман.

Очевидцы знаменитого крымского землетрясения (1927 год) рассказывали об огненных столбах, поднявшихся над морем. Напротив мыса Лукулл столбы огня взвивались на высоту около 500 м.

Землетрясение на полуострове Идзу (Япония) в 1930 году: световые явления напоминали замедленные вспышки исполинских молний, в районе максимальных сейсмических разрушений возникали огненные шары и длинные полосы, напоминающие северное сияние.

В 1940 году наблюдалось странное свечение неба во время девятибалльного землетрясения в Карпатах.

Один из очевидцев ашхабадского землетрясения (1948 год), метеоролог *Помутский* свидетельствовал: «Перед сном я вышел из дома подышать свежим воздухом. Вдруг появились ослепительно яркие электрические разряды. Они образовали

дугу, которая надвигалась от гор в мою сторону и ушла в землю возле водонапорной башни в 30—40 м от меня. Затем последовал порыв ветра. Он прекратился мгновенно, и сразу же задрожала земля».

Другой очевидец ашхабадской трагедии, ученый-геолог вспоминает: «...в гостиницу я вернулся поздно и уже собирался лечь спать, как вдруг заметил в окне странные вспышки, беззвучно озарявшие горизонт... Мне показалось, что это гроза, и поэтому последующий грохот и сотрясение я воспринял сначала как запоздавшие удары грома...»

1960 год. Землетрясение в Чили. Горные вершины вблизи эпицентра, казалось, были охвачены языками пламени.

1966 год. Ташкент. Незадолго до землетрясения 25 апреля, когда солнце еще пряталось где-то за горизонтом, над крышами ташкентских домов взвился гигантский факел. В ту же ночь наблюдалось и другое не менее примечательное явление. За несколько часов до землетрясения в некоторых домах, расположенных в эпицентре, люминофор ламп дневного света начал самопроизвольно светиться — так вспоминает в своей книге ташкентский сейсмолог, доктор физико-математических наук *В. А. Уломов*.

В заключение процитируем абзац из книги американского геофизика *Э. Робертса* «Когда сотрясается земля»: «При землетрясениях часто отмечают непонятные свечения, похожие 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...»

Свечение, несомненно, — одна из примет землетрясения. Ведь тысячи и тысячи людей на протяжении многих веков отмечали в общем-то одни и те же подробности загадочного природного феномена. Но к сожалению, таинственные световые эффекты, напоминающие то зарницы, то ослепительно яркие разряды, то шаровую молнию, — приметы не заблаговременные: они обычно возникают за десятки секунд, в лучшем случае — за несколько минут перед самим толчком.

Замечено, что землетрясению предшествуют не только призрачные молнии, шары и огни, но и резко возрастает напряженность электрического поля в атмосфере. Впервые это явление подметил ташкентский профессор *Е. А. Чернявский*. В августе 1924 года он вместе с экспедицией прибыл в Джалал-Абад (Киргизия) для изучения атмосферного электричества в полевых условиях. Исследования проводились с помощью аппаратуры, сконструированной самим Чернявским. Вот его рассказ:

«В день, когда нас поразило необычайное поведение нашего прибора, небо было ясное. Однако аппаратура со всей очевидностью показывала — в атмосфере разразилась электрическая буря с чрезвычайно высоким потенциалом. Каким именно — измерить не удалось, так как стрелка прибора сразу же ушла за пределы шкалы. А два часа спустя разверзлась земля.

Тогда-то я и подумал: может, землетрясение и было причиной аномального состояния атмосферного электрического поля?»

По свидетельству сотрудника Среднеазиатского гидрометеорологического института *К. Э. Церфаса*, возмущение электрического по-

ля Земли было зафиксировано и за 5 часов до первого подземного удара 26 апреля 1966 года в Ташкенте. Наблюдалось оно здесь и перед некоторыми последующими толчками при полном отсутствии какой-либо привычной метеорологической причины, будь то гроза или пылевая буря.

Итак, ученые, по-видимому, напали на след еще одного из предвестников землетрясений. Но это еле заметный след. Дело в том, что в распоряжении ученых имеются пока лишь случайные и очень неполные факты. В такого рода наблюдениях не всегда можно выявить непосредственно само явление в его чистом виде, отсеять сопутствующие, а то и просто переходящие факторы. Да и разумно ли требовать тщательности анализа впечатлений от тех, кто был застигнут стихийным бедствием? Есть трудности и иного характера. Речь идет об облачности, тумане, ветре. Они также влияют на электрическое поле атмосферы. Как выделить из общей аномалии электрического потенциала атмосферы ту долю, которая вызвана предстоящим землетрясением? Нелегко ответить на этот вопрос. Сегодня мы с уверенностью можем говорить об изменении электрического потенциала в воздухе за счет подземной бури лишь при безоблачной и спокойной погоде.

Недавно американские ученые предложили теорию, объясняющую, почему, за счет каких процессов происходит возмущение электрического поля Земли, возникают призрачные огни землетрясений. По этой теории превращение сейсмической энергии в атмосферное электричество является результатом пьезоэлектрического эффекта,

возникающего при сдавливании кристаллов кварца земной коры. Ученые подсчитали, что соответствующие сейсмические напряжения в земной коре могут создать электрическое поле напряженностью до 50—500 млн. Вт.

В 1973 году Комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР зарегистрировал новое открытие, сделанное группой ученых Москвы и Ташкента: советские геохимики и геофизики обнаружили, что в период, предшествующий землетрясению, и в момент катастрофы в подземных водах изменяется концентрация содержащихся в них инертных газов — радона, гелия, аргона и химических элементов урана, фтора, а также изменяется изотопный состав гелия и урана.

У этого важного открытия довольно любопытная предыстория, с которой читателю, как нам кажется, небезынтересно будет, хотя бы кратко, познакомиться.

Все началось с того, что еще на рубеже XIX и XX столетий, когда сейсмология как наука по сути только зарождалась, известный русский ученый, академик *Б. Б. Голицын* (1862—1916) указал на необходимость организации наблюдений над одним из источников пятигорской группы минеральных вод одновременно с наблюдениями над различными сейсмическими явлениями. Дальше события развивались так.

В июле 1966 года в Институте физиотерапии и курортологии имени *Н. А. Семашко* производили очередной анализ ташкентской минеральной воды, в том числе определяли содержание инертного газа радона. И на этот раз, как обычно, взяли пробу воды, с по-

мощью специальной аппаратуры провели анализ... Результаты удивили исследователей. Они проделали анализ заново, но итог все тот же — резкое падение концентрации радона. Вспомнили, что во время предыдущего замера, проведенного в апреле до землетрясения, радона в воде содержалось в 2,5 раза больше. Невольно мелькнула мысль: не связано ли изменение концентрации с землетрясением 26 апреля? Раздумья привели исследователей на центральную сейсмическую станцию «Ташкент». Были подняты все записи с анализами ташкентской минеральной воды, начиная с 1956 года. Тогда рядом с Институтом имени Семашко была прорублена артезианская скважина, которая ушла в недра на глубину 1862 м и, по мнению геологов, попала как раз в зону одного из разломов, пересекающих недра Ташкента.

Исследования показали, что, начиная с 1961 года, содержание радона в ташкентской минеральной воде стало заметно увеличиваться. К середине 1965 года оно уже почти удвоилось, но концентрация все еще продолжала повышаться. Начиная с октября 1965 года по апрель 1966 года содержание инертного газа стабилизировалось.

28 апреля. Восьмибалльным толчком началось печально знаменитое ташкентское землетрясение. Замеры показали: концентрация радона падает. К концу 1966 года она достигла величины 1956 года.

С февраля 1967 года содержание радона снова начало постепенно повышаться. В середине марта наступила стабилизация повышенной концентрации, а в конце марта на Ташкент обрушилось семибалльное землетрясение. После этого толчка

содержание инертного газа опять резко уменьшилось. Зависимость явная!

Выявленная ташкентскими и московскими учеными закономерность подтвердилась при изучении дагестанского землетрясения 1968 года: накануне катастрофы концентрация радона в термоминеральной воде возросла в 3 раза. Аналогичное явление было обнаружено и в других сейсмоактивных районах.

Чем же объясняется повышение содержания радона перед землетрясением и почему именно этому, а не какому-нибудь другому элементу, выделяющемуся из пород перед подземной бурей, уделяют перво-степенное внимание сейсмологи и гидрологи?

Дело в том, что в любом грунте есть вода. Пропитывая породы, она на своем пути растворяет различные химические элементы, находящиеся в них. Но в любой породе есть мелкие поры, заполненные газами. Вода в них не проникает, слишком они малы. Значит, если бы газ вышел из пор и вода попала бы в них, изменился бы и ее состав.

А теперь представьте себе, что в одном из сейсмоактивных районов назревает подземная буря. Мы уже говорили, что перед землетрясением в земле нарастают внутренние напряжения. Колоссальное давление в очаге землетрясения приводит к растяжению пород, к разрушению многих пор, к образованию многих трещин. В образовавшиеся пустоты, естественно, устремляется вода. Интенсивно пробиваясь по тонким трещинам к поверхности земли, она растворяет на своем пути вещества, недоступные ей раньше. Изменяется химический состав воды. В водоносных слоях повышается

концентрация выделяющихся из пород радона, урана, углерода, гелия и многих других элементов, из которых радон — лучший индикатор подземных процессов.

У радона два важнейших преимущества перед другими элементами. Первое: инертный радон не вступает ни в какие химические реакции, т. е. не отвлекается по пути к поверхности земли.

Второе: радон не долговечен, период его полураспада немногим более трех с половиной суток. После этого его концентрация в воде становится прежней. Все же другие элементы накапливаются в воде в течение длительного времени, и поэтому точной картины изменения ее состава нельзя увидеть. Этим и объясняется то большое внимание, которое сейсмологи и гидрологи уделяют эмиссии радона из земных слоев. Радон очень гибкий инструмент для наблюдений за меняющимися со временем процессами в глубинах земли. Не менее важно и то, что до водоносных слоев пробурить скважину значительно легче, чем в глубину, до очага землетрясения. К этому следует добавить: радиоактивность радона позволяет применять для измерений несложные по конструкции счетчики. Сейсмологи уже наладили непрерывное автоматическое измерение количества радона в минеральной воде. Чем сильнее ожидаемый подземный толчок, тем четче его можно предвидеть по графикам концентрации радона.

И все же у оперативного, краткосрочного радонового прогноза землетрясений имеется одно «но». Пока неизвестно, для всех ли мест земного шара годится этот метод прогнозирования, все ли подземные

бури он может предсказать. Так, например, на Курильском полигоне, где сильные землетрясения происходят очень часто, радоновый прогноз не проявил себя. «Во многих случаях, — рассказывает заведующий лабораторией предвестников землетрясений Сахалинского НИИ ДВНЦ АН СССР, доктор технических наук Ф. И. Монахов, — мы не обнаружили даже сколь-нибудь заметного изменения содержания радона в подземных водах, что считается предвестником сейсмической активности».

Большие надежды в настоящее время возлагают ученые на гидрогеодинамический прогноз землетрясений. В основе его — наблюдение за изменением режима подземных вод. Эти изменения связаны с научно обоснованным предположением об активной деформации земной коры накануне толчка. Уровень подземных вод, насыщающих породы, чутко реагирует на эту деформацию.

Проведенными на Курильском полигоне советскими учеными исследованиями было выявлено, что за 3—7 дней до землетрясения определенного энергетического класса начинается падение уровня подземных вод в скважинах, достигающее 5—10 см. После непродолжительной стабилизации он опять поднимается. Толчкам предшествует, как правило, начало подъема подземных вод.

Какие же процессы в очаге готовящегося землетрясения приводят к изменению гидрологического режима?

«Лабораторные опыты показали, — продолжает далее Ф. И. Монахов, — что при подготовке разлома твердых земных пород происходит разуплотнение вещества. Вслед-

ствие этого объем образца увеличивается за счет образования микротрещин. Причем процесс этот обратим, непосредственно перед разломом микротрещины снова закрываются, и вещество уплотняется. Такое явление неупругого расширения вещества под влиянием растущих напряжений в науке называется дилатансией. Сейчас многие ученые считают, что в очаге назревающего землетрясения происходит именно такой процесс».

Изменение режима подземных вод с позиции дилатансионной теории объясняется так. Образовавшиеся микротрещины и поры заполняются водой из окружающей среды, что приводит к понижению уровня. Непосредственно перед толчком породы уплотняются, и вода выжимается. Уровень ее начинает повышаться.

Однако такое предельно простое и ясное объяснение процесса изменения режима подземных вод перед толчком, по мнению некоторых ученых, справедливо лишь для скважин, расположенных в непосредственной близости к очагу. Результаты наблюдений на Курильском полигоне опровергают это мнение. В ряде случаев, свидетельствует Ф. И. Монахов, эпицентры находились за 800—900 километров от пунктов наблюдения (очаги располагались на глубине 200—300 км), а приборы на этих пунктах все равно регистрировали колебания уровня воды в скважинах.

Известно, что перед сильными толчками земная поверхность испытывает вертикальные движения: сначала вспучивается, а затем, непосредственно перед толчком, опускается. Это сопровождается раскрытием, а потом закрытием трещин. То есть упругие напряжения,

возникшие в области очага, как бы переносят с собой зону разуплотнения пород от очага в приповерхностный слой земной коры. А поскольку скорость передачи напряжений в земной коре гораздо выше, чем скорость движения жидкостей, то оставалось предположить, что гидрогеодинамический предвестник возникает в приповерхностном слое. Дальнейшие исследования, и не только на Дальнем Востоке, но и в других районах, подтвердили этот вывод.

Какова же реально прогностическая надежность гидрогеодинамического метода?

Недавние наблюдения показали, что гидрогеодинамический метод позволяет предсказать все три самых важных для прогноза параметра — время, силу и место толчка. Обратимся к фактам.

19 марта 1978 года наблюдатели на Курильском полигоне Ю. Шлюев и В. Ашихин объявили прогноз на ближайшие 2—3 дня. И действительно, 22—23 марта произошло 4 толчка ($M=6,7-7,6$). Эпицентры находились в океане в 150 км юго-восточнее острова Итуруп.

24 марта наблюдатели сообщили о новом землетрясении на ближайшие сутки. Оно и произошло 25 марта и было самым сильным ($M=8$). В тот же день было предсказано следующее землетрясение в течение суток. Прогноз подтвердился серией толчков ($M=5-6$) в ночь с 25 на 26 марта. После этого наблюдатели информировали о сейсмическом затишье, сбилось и это предсказание.

Аналогичного успеха добились ученые Андижанского научно-исследовательского отдела Института сейсмологии Академии наук Узбекской ССР. На основе данных на-



Хребет Петра Первого — зона девятибалльной сейсмичности — основной полигон научных исследований Гармской комплексной экспедиции Института физики Земли АН СССР

блюдательных точек 3 октября 1978 года было высказано предположение: в ближайшие дни в 300 км юго-восточнее Андижана произойдет сильное землетрясение. 8 октября этот прогноз с большой точностью подтвердился. Толчки в Андижане ощущались силой 5—6 баллов, как и ожидали сейсмологи. Были предсказаны также район и приблизительная сила землетрясения, происшедшего 1 ноября 1978 года в Алайской долине.

Точность, с которой советские специалисты предсказали крупное землетрясение в Алайской долине, произвела большое впечатление на американских ученых: впервые в мировой практике землетрясение было предсказано с точностью до нескольких часов по времени, нескольких баллов шкалы Рихтера по силе и нескольких сот километров по расположению эпицентра.

«Больше всего поражает большое количество измерений, исполь-

зованных советскими учеными для предсказания этого землетрясения, — сказал руководитель отдела изучения землетрясений геологической службы США, доктор *Боб Уэссон*. — Эти измерения производились больше года. В середине октября были отмечены резкие изменения в сейсмической активности, а за день до землетрясения — резкое изменение уровня воды».

Именно основываясь на изменениях уровня грунтовых вод, советские ученые сделали предсказание за день до землетрясения, отметил на страницах «Вашингтон пост» профессор Колумбийского университета *Дэвид Симпсон*. Среди геологов бытует мнение, что перед землетрясением происходит общий подъем земной коры и что грунтовые воды по образовавшимся трещинам уходят вглубь. Было зарегистрировано также увеличение зарядов статического электричества.

Благодаря своевременному предсказанию, подчеркнул доктор Симпсон, землетрясение силой 6,7 балла по шкале Рихтера обошлось без жертв.

В сущности система «скважина — водоносный горизонт» пред-

ставляет собой естественный прибор — деформограф. Поэтому колебания уровня воды — это не что иное, как запись деформации земной коры. Таким образом, с гидродинамическим методом, по мнению Ф. И. Монахова, «способен конкурировать только прямой деформографический метод, т.е. запись кварцевых или других приборов, устанавливаемых на поверхности Земли. Но наша система, — утверждает ученый, — обладает преимуществом. Во-первых, у кварцевых деформографов отношение сигнала к шуму не превышает 1, а при записях уровня воды в скважинах это отношение равно 5—10. Далее кварцевый деформограф измеряет линейную деформацию в толчке, а уровень подземных вод реагирует на объемную деформацию всей зоны».

Для того чтобы получать ежедневную информацию о возможных в ближайшее время опасных подземных толчках или о затишье сейсмической активности, необходимо иметь целую систему скважин, расположенных на достаточно больших расстояниях друг от друга и окружающих очаг будущего землетрясения. Именно при сравнении уровня воды в скважинах можно определить положение очага и оценить его силу.

Итак, будущее за гидрогеодинамическим методом предсказания подземных бурь?

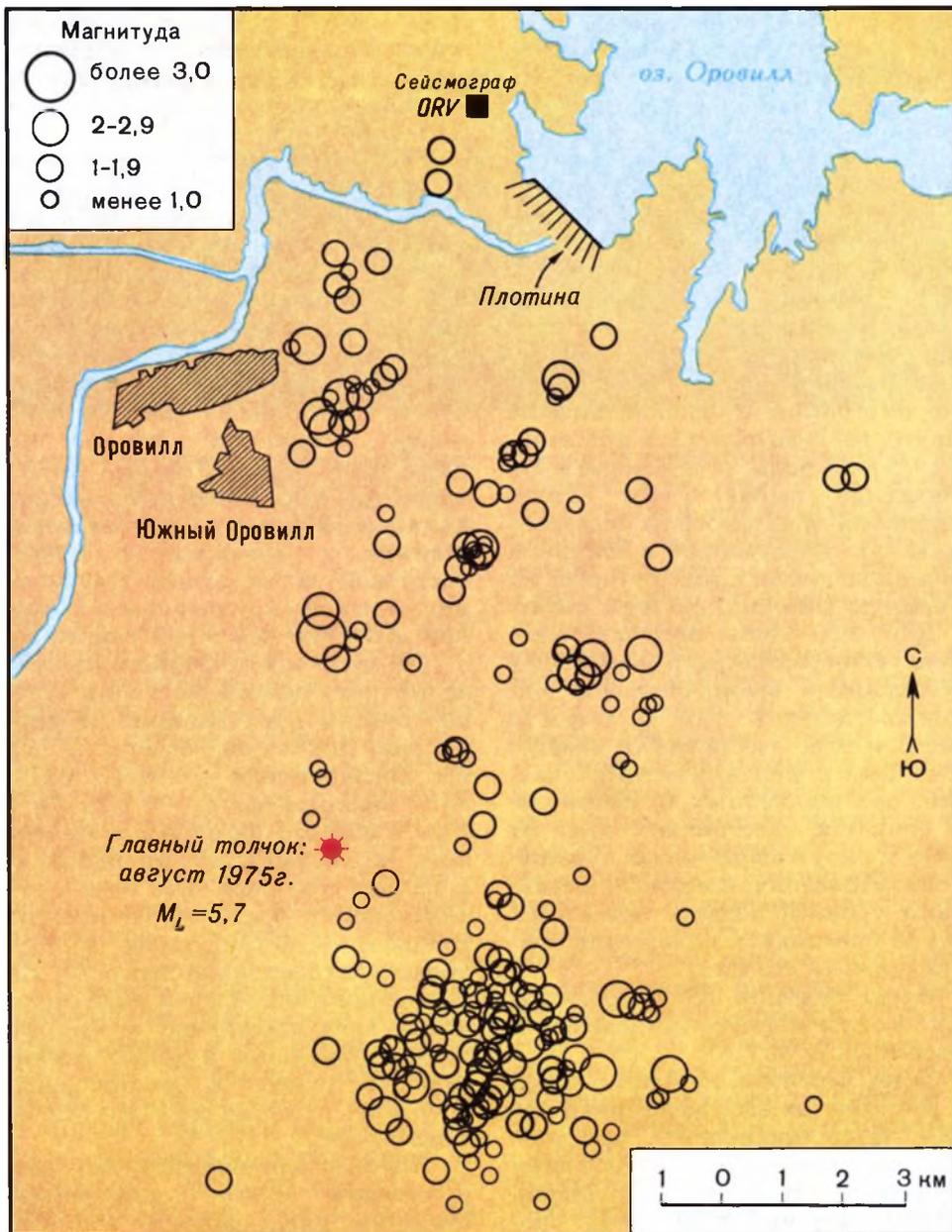
Пока, вероятно, ни один ученый не решится сказать категоричное «да». Надо продолжить наблюдения, экспериментировать, творчески обосновать явление дилатансии. Гидрогеодинамический метод прогнозирования землетрясений должен пройти проверку временем. Тем не менее сегодня бесспорно одно: именно гидрогеодинамиче-

ский способ позволил советским ученым предсказать ряд землетрясений 1978 года, происшедших на Курильских островах и в Андижанской зоне.

Некоторые ученые полагают, что предвестниками могут быть вариации уровня сейсмической активности. По этому прогностическому признаку имеется больше сведений, чем по другим. Однако полученные до сих пор результаты не позволяют сделать определенных выводов. Регистрируются сильные изменения нормального фона сейсмической активности — обычно это увеличение частоты слабых землетрясений. Такие изменения наблюдались в 1975 году перед землетрясениями в Оровилле (в северо-восточной части штата Калифорния, в районе крупнейшей в Северной Америке земляной плотины).

Один случай успешного прогноза по числу предшествующих толчков описан итальянскими сейсмологами. После трагического по своим последствиям главного толчка — землетрясения — 6 мая 1976 года в области Фриули производилось наблюдение за афтершоками. В начале сентября 1976 года было замечено, что среднесуточное число толчков, регистрируемых в этой области, существенно возросло. На основании этого власти выпустили общее предупреждение, в котором людям, живущим в домах сомнительной прочности, рекомендовалось жить в других местах, хотя бы в палатках.

Крупный афтершок ($M=6,0$), разрушивший многие ослабленные строения, произошел в 17 ч 15 мин вечера 15 сентября 1976 года. Однако число жертв этого землетрясения было относительно небольшим.



Эпицентры серии землетрясений в районе Оровилла (Калифорния) в 1975 году (по Б. Болту)

Во многих странах за многие годы сложились определенные представления о погоде, сопутствующей землетрясениям. В своей книге «Французская революция» Карлейль замечает, что надежда ведет революцию подобно тому, как землетрясению предшествует ясная погода, однако большинство английских авторов, и среди них Шекспир, рисуют землетрясение как кульминационный момент бури:

Леннокс. Какая буря бушевала ночью!
Снесло трубу над комнату
нашей...

...И говорят, как в лихорадке,
Тряслась земля.

Макбет. Да, ночь была тревожной.

Леннокс. За весь свой краткий век
не помню ночи,
Подобной ей.

Жители Страны восходящего солнца считают, что с землетрясениями связана жаркая и влажная погода. Один японский сейсмолог изучил погодные условия, сопутствующие 18 главным японским землетрясениям за период более чем 530 лет, и обнаружил, что 12 из них произошли в хорошую погоду, 2 — в облачные дни и 4 — в дождливые. Однако эти данные говорят скорее о японском климате, чем о землетрясениях.

Известны случаи, когда резкие изменения атмосферного давления, связанные с прохождением метеорологических фронтов, совпадали с местными землетрясениями.

Например, Рихтер отмечает, что в Калифорнии слабые сейсмические толчки усиливаются в начале сезона дождей, когда происходит перемещение мощных воздушных масс и перераспределение нагрузок на поверхность Земли. Если изменения давления действительно играют столь важную роль в возникнове-

нии землетрясений, то можно было бы ожидать, что это особенно видно на подводных сейсмических толчках, поскольку изменение давления на дне моря во время приливов и отливов в 10 раз больше, чем на суше. Однако ничего подобного не наблюдается.

Несколько лет назад появились сообщения о возможности предсказания землетрясений по... «сейсмическим облакам». Авторами этого прогностического метода были японские и китайские ученые, изучавшие в течение четырех десятилетий связь между землетрясениями и формированием облаков. По их утверждению, «сейсмические облака» обычно бывают длинными и плоскими и находятся на высоте 5100—5800 м над землей. Их цвет варьируется от молочно-белого до ярко-красного. Изменения в форме могут указывать на силу землетрясения. Как правило, по свидетельству ученых, такое облако появляется в течение двух недель, предшествующих подземной буре. Руководствуясь своими наблюдениями за формированием облаков, китайский сейсмолог Сун Сун удивительно точно предсказал землетрясение в Нагано, которое произошло 14 сентября 1984 года и достигло в эпицентре 6,9 балла. В результате катастрофы в Нагано по официальным данным 7 человек погибли и 22 пропали без вести.

В общей сложности к настоящему времени ученым удалось выявить в разных регионах земного шара более 100 (!) различных предвестников подземных бурь, тем не менее обилие обнаруженных предсейсмических аномалий не привело к заветной цели — надежного метода предсказания землетрясений пока нет. Известны лишь единич-

ные случаи удачного предсказания землетрясений в СССР, КНР, США и Японии по изменению геолого-геофизических полей и другим аномальным явлениям, но, как гласит народная поговорка: «Одна ласточка весны не делает». Подавляющее большинство происходящих ныне землетрясений на нашей планете остается непредсказуемым во времени.

Разработка метода точного прогноза землетрясения — дело очень тонкое, архитрудное. Некоторые предвестники регистрируются на очень значительной площади, и далеко не всегда удается определить на ней будущую горячую точку — эпицентр. Иногда предвестники фиксируются в одном месте, а землетрясение происходит в стороне от него на расстоянии многих километров. Порой сейсмологи располагают набором инструментально зафиксированных геофизических, гидрогеологических, газохимических симптомов (параметров), предвещающих сильное землетрясение. Все данные говорят: вот-вот оно произойдет, нервы, так сказать, напряжены до предела, но нет — земля молчит, катаклизма нет и нет.

Доктор геолого-минералогических наук *В. Н. Крестников* рассказывает: «Вспоминаю любопытный случай. Есть одно место в Средней Азии, где буквально на глазах берега озера начали опускаться, даже одну деревню затопило — все ждали сильного землетрясения. Но его так и не было...» А бывает нередко и так: тревожных признаков нет. Молчание продолжается год, два, 10, 20, 50, 100 лет. А затем следует мощный подземный толчок. За примерами далеко ходить не надо. На Кавказе в районе Шемахи,

в районах Армянского нагорья случались периоды сейсмического затишья, длившиеся сотни лет, после чего разрушительные землетрясения возобновлялись.

Закономерен вопрос: почему?

Причин много. Наша планета — изменяющееся космическое тело. Ее жизнь очень сложна. Характер взаимоотношений в системе «процесс — среда — землетрясения» полон загадок. Чтобы обеспечить надежный прогноз подземной бури, такой, скажем, как предсказание фаз Луны или результата химической реакции, необходима, как правило, прочная теоретическая основа. К сожалению, в настоящее время точно сформулированной теории происхождения землетрясений все еще нет. Что касается попыток всеобъемлющего решения проблемы предсказания землетрясений с помощью выявленных учеными многочисленных предвестниковых признаков, то они дают пока, как это ни прискорбно, мало оснований для оптимизма.

Сейсмологи находятся в труднейшем положении: из более чем 100 известных ныне предвестников подземных бурь нет хоть одного абсолютно достоверного. У каждого из предвестников есть слабые места.

Например, гидрогеодинамический и деформационный могут оказаться связанными с осадками, прежде всего с дождем.

Перепады атмосферного давления тоже могут изменить уровень воды в скважинах.

Даже такой, считающийся наиболее точным, признак надвигающегося землетрясения, как форшоки, не застрахован от досадных ошибок, поскольку нет никаких способов узнать наверняка, явля-



ется ли данный форшоком крупного землетрясения, пока это крупное землетрясение не произойдет. Наряду с этим известно немало случаев, когда перед значительными толчками, например перед землетрясением в Сан-Фернандо (Калифорния, США, 1971 год), форшоков не было. Нередко землетрясения происходят вообще без четко выраженных предвестников, иные предвестниковые аномалии порою маскируются под влиянием различных естественных и искусственных помех.

Поскольку ни один из предвестников землетрясений в отдельности не дает сведений на 100 процентов достоверных, приходится строить прогноз, анализируя все наиболее изученные признаки в комплексе. Дело это непростое. Необходимо вести большое количество различных наблюдений для составления сейсмического прогноза. И при всем этом прогнозы носят слишком общий и приблизительный характер и в отношении сроков надвигающейся сейсмической катастрофы могут оказаться весьма неточными.

Сарезское озеро, образовавшееся в результате мощного землетрясения в 1911 году

Так, в исследовании румынских сейсмологов, представленном Европейской сейсмологической комиссии, вероятность возникновения очередного 9-балльного землетрясения во Вранчской сейсмологической зоне в конце 70-х годов оценивалась всего в 35—40 процентов, а к концу столетия — в 60 процентов. Однако реальная катастрофа произошла в марте 1977 года.

Другой пример. В феврале 1978 года на севере и юге Сахалина, а также на Курильских островах (на протяжении 1000 км) уровень воды в скважинах начал опускаться. Причем если обычно уровень снижается на 15 см, то к началу апреля он опустился чуть ли не на 0,5 м. Деформация земной поверхности также достигла небывало большой величины, были отмечены аномальные изменения магнитного поля и наклона поверхности. Словом, все говорило о том, что готовится сильнейшее землетря-

сение. Объявили тревогу, но... ничего не произошло. Уровень воды сначала стабилизировался, а 8—9 апреля резко пошел вверх. Успокоились и другие предвестники.

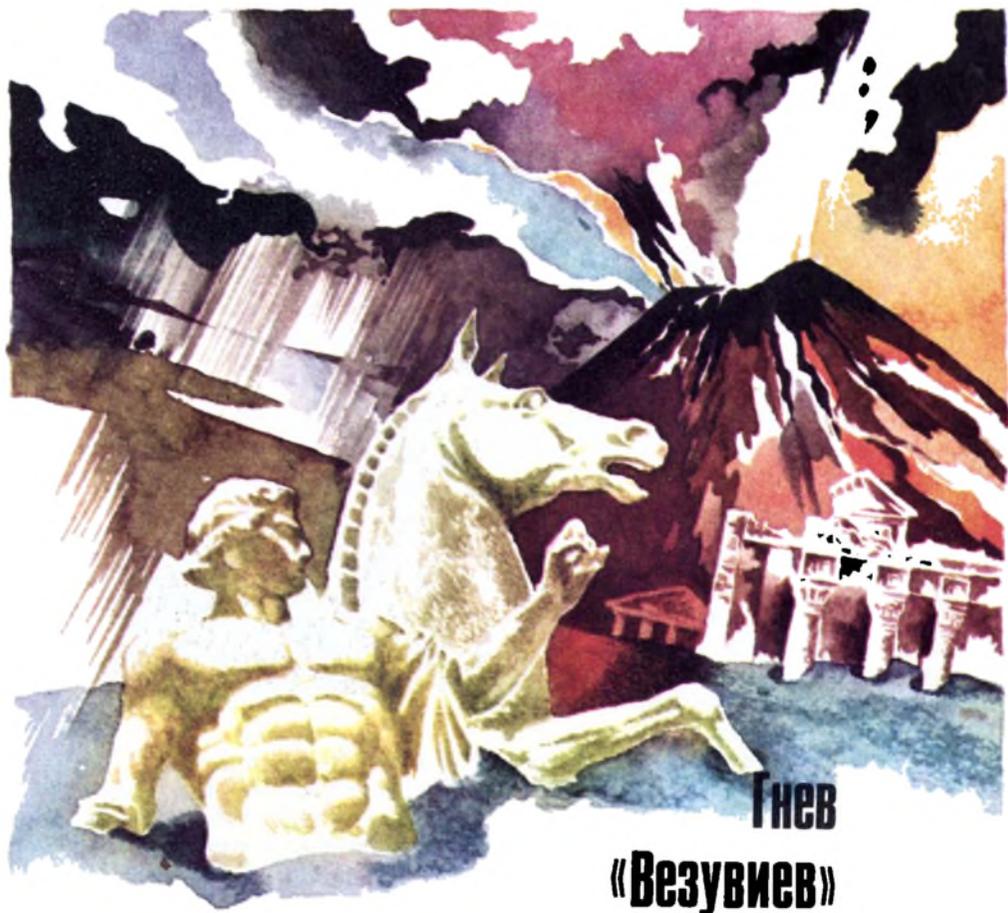
Такие казусы в предсказании подземных бурь, проистекающие от несовершенства современного метода прогнозирования, увы, нередки. Не всегда, к сожалению, поддаются правильному анализу все явления, предшествующие подземным бурям. Согласно публикуемым данным пока оправдываются не более 80 процентов прогнозов, и то не везде. Каждый пятый прогноз землетрясения ошибочный, ложный. А ложный прогноз при определенных условиях может привести к тяжелым последствиям.

Так, например, обнародованные, но впоследствии не оправдавшиеся прогнозы не раз порождали панику, дезорганизовывали хозяйственную деятельность, работу электростанций, газовых сетей, транспорта и связи в ряде густонаселенных сейсмоактивных районов Японии, США, Мексики, Перу и других стран.

Не следует забывать и о не менее важных сторонах проблемы — психологической и социальной. Когда

бюро прогнозов погоды предсказывает ясный, солнечный день, а к полудню вдруг собираются тучи и щедро поливают дождем, в худшем случае вы будете наказаны за то, что доверились сводке, пошли на работу без зонта.

Теперь представьте, что городу с многочисленным населением сообщают о предстоящем землетрясении, а оно не состоится. Доверяя прогнозу сейсмологов, прекратят работу строительные организации, промышленные предприятия, культурные и учебные заведения, из лечебных учреждений эвакуируют больных, жители города покинут свои несейсмостойкие дома, запланированный приезд туристов не состоится. Сознание того, что землетрясение вот-вот произойдет, напряженное томительное ожидание подземного толчка могут подорвать здоровье не одного человека, а для некоторых людей оно может закончиться нарушением психики и тяжелыми сердечными недугами. И конечно же, если будет сделан конкретный прогноз, а он окажется ложным и ничего не произойдет, это будет воспринято как доказательство того, что метод ненадежен.



Гнев «Везувиев»

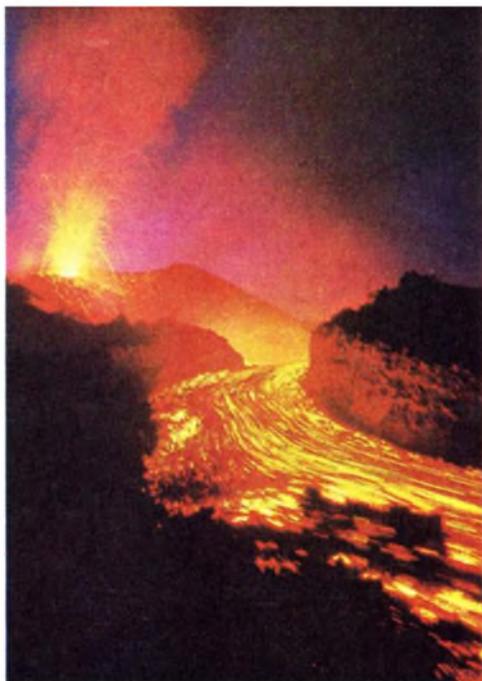
Наряду с изысканием новых эффективных методов и средств предсказаний погоды и землетрясений у биоников на повестке дня: помочь найти решение еще одной волнующей человечество глобальной проблемы — повышение точности, надежности прогноза вулканических извержений.

Вулканическое извержение — сложный и грозный процесс. Огромные объемы перегретых масс

глубоко в недрах Земли пленены большим давлением и не могут продвигаться к поверхности. Но Плутон пребывает как бы в постоянной готовности покинуть недра, бежать из вечной ночи земных глубин. Как только в земной коре или находящейся ниже ее мантии возникают какие-либо нарушения (трещины, разломы, перемещения блоков и т. д.), достигающие тех глубин, на которых находятся пере-

гретые массы (обычно это многие десятки километров), давление исчезает и находившиеся в твердом состоянии вещества превращаются в жидкость, а точнее, в магму, что по-гречески означает тесто, месиво. Магма, насыщенная газами и паром, с неумолимой силой устремляется вверх. Часто магма выталкивается на поверхность в дробленном виде; причем все это сопровождается грохотом, громовыми раскатами, сверканием молний, а тучи раскаленных частиц поднимаются на 20—30 км в высоту, а иногда и больше.

Геология определенно утверждает: когда-то на Земле кипели тысячи вулканов. Вскоре, после того как сформировалась наша планета и еще до возникновения первоначальной литосферы, материков, атмосферы и гидросферы, картину ее жизни определял исключительно вулканизм. В истории земной коры не было периода, когда бы не действовали вулканы. Начавшийся на самых ранних стадиях существования нашей планеты вулканизм продолжается по сей день. Имеется немало веских доводов в пользу мнения о том, что земная кора, водная оболочка и атмосфера образовались в течение миллиардов лет преимущественно из продуктов вулканической деятельности. В наше время из недр Земли на ее поверхность ежегодно поступает от 5 до 15 км³ магмы: ее твердое тело слагает новые горные породы, а газы пополняют атмосферу. Примерно $\frac{1}{5}$ этого количества изливается на дне океанов, в рифтах — расщелинах срединных океанских



хребтов. Как полагают ученые, базальтовая магма наваривает края раздвигающихся литосферных плит.

Вулканизм — грозный, стихийный, нерегулируемый природный процесс — веками был окружен ореолом таинственности и объяснялся деятельностью могучих и суровых богов или злых духов. Так, древнейший полинезийский миф повествует о том, что бог Тангалоа сотворил семь небес и воздвиг Землю, вокруг которой стали вращаться небеса и заплескался океан.

Однажды бог Мауи, говорится в нем дальше, забросил в глубины океана удочку и вытащил оттуда остров. Но Мауи нечаянно зацепил крючком спавшего в пучине вод бога ветров Ру. И тот вздыбил поверхность океана. С яростью подул ветер, с невероятной быстротой под-



нялись волны. Задрожала земля, взвились над вершинами гор языки пламени. Взлетевшие в воздух огромные камни стали падать, словно дождь. Океан покинул свое ложе, поднялся до вершин высочайших гор, затопив пойманный Мауи остров.

В ряде мифов и сказаний вулканы предстают перед нами огненной геенной, исчадием ада, обителью дьявола, гигантскими жерлами Эреба¹, из которых бездна извергла всепожирающих драконов и сатанинское пламя. По одной из легенд в средиземноморском сицилийском вулкане Этна размещалось ложе стоголового огнедышащего чудовища Тифона, которое заставляло содрогаться все окрестности,

когда ему снились беспокойные сны.

Греческий историограф *Геродот* упоминает остров Хиеру, на котором расположена гора с отверстием на вершине, из которого время от времени поднимаются дым и огонь. В греческой мифологии это был выход, или дымовая труба, кузницы Гефеста, греческого бога огня, ковавшего глубоко в недрах горы драгоценное оружие, и в том числе нагрудный панцирь Геракла, щит Ахилла, стрелы Аполлона и Дианы. Римляне называли его **Вулканом** и дали острову наименование Вулькано, которое он, находясь в группе Липарских островов (в Тирренском море, к северу от острова Сицилия, Италия), носит и ныне.

¹ Эреб — персонификация мрака, сын Хаоса и брат Ночи.

Остров Вулкано стал как бы образцом всех гор, обладающих такими особенностями, из-за которых их стали называть вулканами.

Разумеется, в наше время цивилизованный человек не связывает жизнь огнедышащих гор ни со всемогущими богами, ни со злыми духами. Но даже одержимый страстью к познанию самых сокровенных тайн природы человек все же порой при виде потока огненной массы, прорывающейся через тонкую скорлупу земной коры, не в силах преодолеть первобытный страх, унаследованный с незапамятных времен. Известный французский вулканолог, профессор Национального центра научных исследований и заведующий отделом Парижского института физики Земли *Гарун Тазиев* (у нас в стране переведена его замечательная книга о вулканах «Встреча с дьяволом») считает, что вулканическое извержение является «самым фантастическим явлением природы». И с этим нельзя не согласиться.

Трудно представить себе явление, которое по своему грозному величию могло бы сравниться с разгулом вулканической деятельности. Во время извержения вулкана над его кратером образуются пышные «султаны», в которых то там, то тут набухают и прорываются «бугры», вызванные быстрыми завихрениями горячих газов, стремящихся вырваться наружу. Эти вихри несут с собой не только бомбы из свежей лавы и глыбы разной величины, вырванные из стенок вулкана, но и огромные массы лавы, обращенной в пыль под действием взрывов титанической силы. Все это придает этим дымовым султанам (порой они похожи на гигантские грибы или кочаны цвет-

ной капусты) зловещую хмурость.

Еще страшнее картина ночного извержения: с вершины горы к цветущим, зеленым равнинам, к притихшим, заснувшим селениям движутся огромные потоки лавы; все сметая на своем пути, обгоняя медлительную лаву, с ревом несутся горячие грязевые потоки, они увлекают с собой вырванные с корнем деревья, огромные каменные глыбы несут смерть всему живому. Недаром очень часто писатели и поэты обращаются к образу вулкана, используют его в качестве олицетворения необузданных страстей и всеразрушающей силы. Нередко и художники используют в произведениях ту же тему.

Достаточно вспомнить картину выдающегося русского художника *К. П. Брюллова* «Последний день Помпеи». В основе ее сюжета — исторический факт. Рано утром 24 августа 79 года н. э. над Везувием — вулканом, расположенным на юге Италии на берегу Неаполитанского залива, поднялось облако, которое, если сравнивать его с деревьями, больше всего походило на пинию (итальянскую сосну). Огромный ствол пинии вздымался вверх и расходился в вершине своей ветвистой кроной, очевидно поддерживаемой восходящими потоками воздуха. Потом, словно этот поток стал умирать, ствол начал растворяться. Временами пиния становилась белой, временами — цвета грязи, покрывалась пятнами. Это зависело от того, выбрасывал вулкан землю или пепел. Так описал в письме к римскому историку *Тациту* (ок. 58 — ок. 117) извержение Везувия римский писатель *Плиний Младший* (ок. 62 — ок. 114), гостивший в то время в Мизено на северном берегу Неапо-

литанского залива в имени своего дяди *Плиния Старшего* (23—79 гг.)¹.

Однако поначалу мало кто обратил внимание на поднявшееся над вулканом облако из пепла и пара. До первого века нашей эры римляне считали Везувий бездействующим вулканом. По его удобным склонам высоко вверх тянулись участки вилл и фруктовых садов. Люди, живущие в близлежащих городах и деревнях, благоденствовали, и никто не думал о возможной катастрофе. Продолжалась нормальная жизнь. Однако, когда из вулканического конуса начал интенсивно вылетать и подниматься высоко в небо пепел, а на окружающие деревни сыпаться обломки горных пород, спокойствие покинуло население. За обильным пеплопадом полностью скрылось солнце, наступила крошечная тьма. Это еще больше усилило тревогу и замешательство людей. На улицу нельзя было выйти, не прикрыв голову подушкой, так как вместе с пеплом с неба летели крупные камни. Ядовитые вулканические газы затрудняли дыхание. Накопление статического электричества в поднимающемся султানে вулканического пепла вызвало сильные молнии. Не прекращались и землетрясения. Под действием цунами в Неаполитанском заливе море то отступало, то вновь обрушивалось на берег.

За сутки стихия совсем измотала людей; они устали, обессилели и решили, что наступил конец света. Тысячи из них в паническом страхе бросились прочь от Везувия на

равнину или уплыли в море на лодках. Поскольку почти везде в этом районе пепел накапливался относительно медленно, большинству людей удалось спастись.

По-иному сложилась судьба Помпеи. Этот античный город, расположенный с подветренной стороны от вулкана, был очень быстро засыпан пеплом. К тому времени, когда пришедшие в ужас жители осознали всю серьезность своего положения, улицы уже были погребены под толстым слоем пепла, а он все падал и падал с неба. Все это происходило в абсолютной темноте, солнечный свет не мог пробить пепловое облако. Население охватила паника, многие пытались спастись бегством, но было слишком поздно. Мягкий пепел на земле, пепел, низвергающийся с неба, сернистые пары в воздухе — все это создавало ужасную картину. Люди, обезумевшие от страха и ужаса, бежали, оступались и падали, погибая прямо на улицах, и их мгновенно засыпал пепел. Удивительно точно эта катастрофа описана у *А. С. Пушкина*:

Везувий зев открыл — дым хлынул клубом —
пламя

Широко разлилось, как боевое знамя.
Земля волнуется — с шатнувшихся колонн
Кумиры падают! Народ, гонимый страхом,
Под каменным дождем, под воспаленным
прахом
Толпами, стар и млад, бежит из града
вон.

Некоторые решили остаться в домах, где пепла не было, но дома быстро заполнялись ядовитыми па-

¹ Плиний Старший — государственный деятель и ученый, был одним из крупнейших естествоиспытателей античной эпохи, автором 37-томной «Естественной истории». Недооценив масштабы катастрофы, мощь разбушевавшегося Везувия, демонстрируя «свою неустрашимость» перед бегущими в панике жителями Стабии, Плиний Старший погиб на третий день извержения вулкана.



Лавовые потоки и пепел, отложившиеся при крупных извержениях Везувия, начиная с 79 года н. э. и до наших дней

Дуга острова Санторин



рами, и сотни людей погибали от удушья. Многие нашли свою смерть под развалинами домов, были раздавлены крышами, которые обрушивались под тяжестью пепла. Извержение Везувия полностью уничтожило город. Помпеи скрылись под слоем пепла толщиной до 3 м. Каждый десятый житель из 20 тысяч населения города остался лежать под его руинами.

Расположенный по другую сторону от Везувия город Геркуланум не был засыпан падающим с неба пеплом, но он тоже был обречен и исчез с лица Земли. Высоко на склонах вулкана скопилось огромное количество пепла, грозящее обрушиться вниз, и, когда в результате атмосферных нарушений, вызванных извержением, прошел проливной дождь, эти массы пепла размокли и начали оползать. По склону понеслись полужидкие грязевые потоки, которые устремились вниз и полностью затопили Геркуланум. Глубина некоторых из этих потоков доходила до 15 м. На счастье, к тому времени, когда Геркуланум постигла гибель, уготовленная ему Везувием, большая часть населения успела покинуть город; там осталось всего около 50 человек.

Извержение вулкана прекратилось через двое суток. Когда же оно прекратилось, оставшиеся в живых увидели, что на вершине Везувия образовалась **кальдера**¹ — огромный кратер около 3 км в поперечнике. Часть стены этой кальдеры можно видеть и сейчас: это Сомма-Везувиана, к юго-западу от которой возвышается современный конус Везувия, сформировавшийся

¹ Кальдера — по-испански означает «котел». Гигантские кратеры такого типа образуются либо в результате взрывов, либо вследствие колоссальных провалов.



Схема строения кальдеры Санторин

в результате нескольких последующих циклов более слабой вулканической деятельности, которая продолжается и в настоящее время. Постепенно грязевой поток над Геркуланумом затвердел, и оба города, Помпеи и Геркуланум, лежали 18 веков в забвении под слоем пепла, пока раскопки не превратили их в сегодняшнюю «золотую жилу» археологии.

Однако извержение Везувия было далеко не самым грозным в истории нашей планеты.

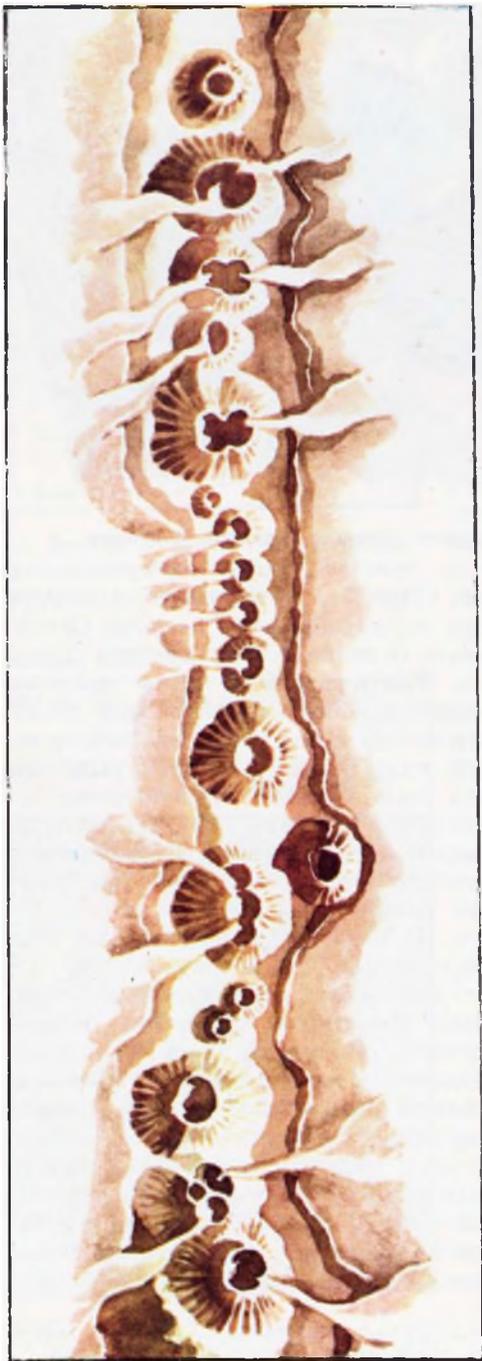
Примерно 3400 лет назад на греческом острове, принадлежащем к группе островов Киклады, разбушевался вулкан Санторин. Грандиозный взрыв сжег остров Тира в Эгейском море, а на Крите уничтожил цветущую минойскую цивилизацию. Весьма вероятно, что именно эта катастрофа породила миф о погибшей Атлантиде. К тому склоняют и подробное описание города Атлантиса *Платоном* (427—347 гг. до н. э.) в диалоге «Критий»

и «Тимей», и недавние раскопки на кольцеобразном острове Санторин, оставшемся от острова Тира.

Критический анализ древних текстов и подробный разбор геологических слоев — свидетелей, кстати, куда более красноречивых, чем об этом принято думать, дают основание считать, что Атлантиду, возможно, уничтожило именно это мощнейшее за последние три-четыре тысячелетия извержение¹.

В 1006 году на острове Ява произошло катастрофическое извержение одного из грозных вулканов Индонезии — Мерапи. Извержение сопровождалось сильными подземными ударами. В горе возникла расщелина, и часть конуса сползла в долину. Затем последовал чудовищный взрыв, завершивший разрушение. В результате катастрофического извержения Мерапи погибло индийско-яванское государство Матарам, достигшее

¹ Некоторые ученые считают, что попытки связать с извержением Санторина гибель легендарной Атлантиды или «египетскую тьму» следует признать чисто умозрительными.



высокого расцвета. На его территории находилось несколько городов с многочисленными храмами, великолепными дворцами. Некоторые из них в год извержения еще достраивались...

11 июня 1783 года после сильных землетрясений, продолжавшихся 8 дней, начал изливаться потоки жидкой лавы одновременно из 22 отверстий вулкан Лаки в Исландии. Его извержение было самым лавообильным в мире. Устремившись в южном направлении, лава достигла ущелья реки Скафтау глубиной от 120 до 180 м, полностью заполнила его на протяжении 80 км и, переливаясь через его края, распространилась в смежные районы на расстояние 25 км. Средняя мощность лавового потока составила свыше 30 м, многократно возрастая в долине.

Между тем извержение лавы продолжалось с неудержимой силой. Часть лавового потока, наступавшего в южном направлении, 3 августа достигла долины Хвервисфлюут и на протяжении 60 км полностью заполнила ее, как долину Скафтау, так же переливаясь через ее края и затопляя окружающую местность. Лавы, излившиеся во время извержения по трещине Лаки, скрыли под собой 9020 селений; объем выброшенной магмы превысил Монблан. Запруженные скоплениями лав реки вышли из берегов.

Вследствие подъема уровня воды, и прежде всего в результате чрезмерно возросшего притока вод, обусловленного таянием ледника,

Фрагмент цепи кратеров, образовавшихся во время извержения вулкана Лаки (Исландия) в 1783 году

вызванным извержением, значительные территории Исландии были затоплены. Перекатывающиеся массы воды и грязи разрушили многочисленные хутора, пашни и леса и уничтожили поголовье скота еще до того, как их достигла и погребла под собой раскаленная лава.

Пеплопад, охвативший весь остров, полностью или частично засыпал все пастбища. За этим последовали голод и болезни, собиравшие свою обильную дань с животных и оставшихся людей. Итоги извержения Лаки были для Исландии опустошительными. Страна потеряла пятую часть населения (около 10 тысяч человек), больше половины крупного рогатого скота, три четверти всех лошадей.

В 1815 году на небольшом острове Сумбава Зондского архипелага (Индонезия) произошло одно из мощнейших (из числа известных в историческую эпоху) извержений вулкана Тамбора. 5 апреля гул взрывов разнесся на 1400 км, и все небо покрылось зловещей черной пеленой. Лавины пепла обрушились не только на остров Сумбаву, но и на Ломбок, Бали, Мадуру и Яву. Наиболее сильные эксплозии произошли 10, 11 и 12 апреля, когда взрывы ощущались в 1750 км от Тамборы. В воздух были выброшены колоссальные массы песка и вулканической пыли. Расположенные поблизости от вулкана государства Тамборо, Пекат, Сангар и большая часть Домпо и Бима были засыпаны метровым слоем пепла, под тяжестью которого даже в 111 км от вулкана были разрушены жилища и другие постройки. Из кратера на расстояние более 40 км выбрасывались камни массой до 5 кг. Кромешная тьма свергла



Район, пострадавший от извержения вулкана Кракатау 27 августа 1883 года

в ужас миллионы людей на территории, равной Франции.

Первоначально высота огнедышащей горы была около 4000 м. После извержения она уменьшилась почти на 1500 м. Если бы вся эта масса обрушилась, например, на Париж, то над городом образовался бы могильный холм высотой более 1000 м. На месте исчезнувшей вершины Тамбора образовалась гигантская впадина — кальдера (диаметром 6 км), в воронку которой с успехом можно было бы опустить две Эйфелевы башни. При образовании кальдеры было перемещено, по самой умеренной оценке, 150 км³ горных пород!

Извержение Тамборо потрясло весь Индонезийский архипелаг. Погибло около 92 тысяч человек, во всей области уцелело лишь 29 жителей.

Нечто подобное произошло в августе 1883 года на острове Кракатау, находящемся в Зондском проливе между Явой и Суматрой.

В далеком прошлом Кракатау

был андезитовым стратовулканом¹, образовавшимся на морском дне у края Зондского грабена и вошедшим в состав Индонезийской островной дуги. Еще в доисторическую эпоху в результате мощного извержения вулкан был раздроблен. В образовавшейся кальдере диаметром 6 км вырос остров Кракатау, молодая вулканическая постройка, состоящая из трех связанных друг с другом вулканов — Раката, Данан и Пербуватан. Вследствие слияния этих конусов остров Кракатау высотой 800 м увеличился до 9 км в длину и до 5 км в ширину. Следующая стадия развития началась взрывами конусов Данан, Пербуватан и Раката.

Первый зловещий сигнал о приближающейся страшной трагедии раздался 20 мая. Именно в этот день пробудился от двухвекового сна Кракатау. В небо на высоту 11 км поднялась завеса паров, газов и пыли. Взрывы, следовавшие один за другим, были слышны на расстоянии до 200 км. Затем все стихло, но ненадолго.

В воскресенье 26 августа 1883 года во второй половине дня началась серия эксплозий, которые можно было наблюдать с кораблей, проходивших вдалеке. Однако все это явилось лишь прелюдией к грандиозной катастрофе, происшедшей на следующий день в 10 ч 20 мин. Гигантский взрыв разнес на куски вулканические конуса Данан и Пербуватан. Над кратером на высоту 27 км поднялась гигантская гуча. За взрывом огромной силы последовали страшнейшие обвалы. Воздушные волны, порожденные

взрывом фантастической силы, имели скорость звука.

Грохот взрыва был слышен в Австралии, на расстоянии 3600 км, и даже на острове Родригес в Индийском океане, удаленном почти на 5000 км. Согласно оценкам ученых, взрывом было поднято в воздух свыше 18 км³ горных пород. Пепел выпал на площади около 827 тысяч км².

В Джакарте, главном городе острова Ява, он затмил Солнце до такой степени, что наступила почти полная темнота. Тончайшая пыль достигла стратосферы, в которой она распространилась по всей Земле, вызвав во всех странах необычно красные зори, яркие закаты Солнца в сумерки. Прошли годы, прежде чем тонкая пыль из верхних слоев атмосферы вновь осела на Землю. В результате частичного экранирования солнечного излучения на больших территориях Земли снизились на несколько градусов среднегодовые температуры воздуха.

Чудовищный взрыв вызвал не только воздушную волну, но и гигантскую приливную волну — цунами высотой до 40 м, причинившую опустошения всюду, где она достигла берега. Приливная волна со всей силой обрушилась на города Марак, Аньер, Тьяринган и полностью их разрушила. Лишь ничтожная часть населения этих городов пережила катастрофу. Даже в проливе Ла-Манш между Англией и Францией приборы, измерявшие высоту прилива, зарегистрировали ее отдельные воздействия. По количеству перемещенной воды и горной

¹ Стратовулкан (от лат. stratum — слой) — слоистый вулкан, конус которого сложен чередующимися потоками затвердевшей лавы и ее обломками (глыбы, бомбы, лапилли), сцементированными и прератившимися в туф.

породы энергия извержения Кракатау примерно равна 200 млрд. кВт·ч, что эквивалентно взрыву нескольких водородных бомб.

В общей сложности извержение Кракатау обошлось человечеству в 36 тысяч жизней.

Но картина величайших катастрофических вулканических извержений, происшедших в минувшие столетия, была бы неполной, если бы мы не рассказали об извержении Этны — одного из наиболее известных вулканов Средиземноморья.

Этна расположен на северо-востоке острова Сицилия (Италия). Он один из крупнейших вулканов Европы. Местные жители зовут его «Монгибелло», что означает «гора гор». Он потрясает своими размерами, особенно если смотреть на него с моря: площадь основания — 1570 км², диаметр с запада на восток — 40 км, с севера на юг — 60 км, высота — 3290 м. Этна принадлежит к числу тех вулканов Италии, которые действовали в историческую эпоху почти постоянно. Иногда их активность усиливалась вплоть до сильных извержений, причинявших значительный ущерб и уносивших многие жизни. Самое драматическое извержение Этны разыгралось в 1669 году.

Извержение началось одним из столь частых и пользующихся дурной славой в Сицилии землетрясений, которое полностью разрушило город Николози.

В ночь с 10 на 11 марта на всем протяжении от вершины Этны и до Николози раскрылась трещина, вдоль которой начали действовать многочисленные кратеры. Недалеко от города были не только засыпаны два паразитических конуса горы Монте-Росси, но и началось также излияние огромных масс лавы, которые, пожирая на своем пути поля, сады, виноградники, 12 марта разрушили городок Мальпассо, насчитывавший 8 тысяч жителей, а затем повернули к городу Катания, достигнув его укреплений 15 апреля.

Несмотря на мужественные попытки жителей отвести лавовый поток, он в конце концов пробил в городской стене брешь шириной 50 м, прошел по улицам, разрушая дома и храмы, через весь город и достиг моря. Уничтожив в общей сложности 50 городов и 300 деревень Италии, лишив жизни 100 тысяч человек, вулкан внезапно успокоился.

Не побавили своей ярости вулканы и в наш XX век. Время от времени газеты и радио сообщают о неожиданно вырвавшихся из недр Земли «силах ада»; на экранах телевизоров демонстрируются заснятые кинооператорами в натуре огненные лавовые реки, горячие пеплопады, затмевающие солнечные тучи, мощнейшие грязевые потоки, несущие жителям вулканических областей смерть и разрушения.



Огненные цепи Плутона

На земном шаре вулканов великое множество. Из них подавляющее большинство находится на дне Мирового океана. Если бы из морей и океанов можно было бы выкачать воду, то нашим глазам открылись бы целые горные страны. Прежде всего на себя обратили бы внимание многочисленные конусообразные горы, стоящие либо отдельно друг от друга, либо образующие хребты. Таких гор, высотой

более километра, только на дне Тихого океана по далеко не полным данным насчитывается около 10 тысяч.

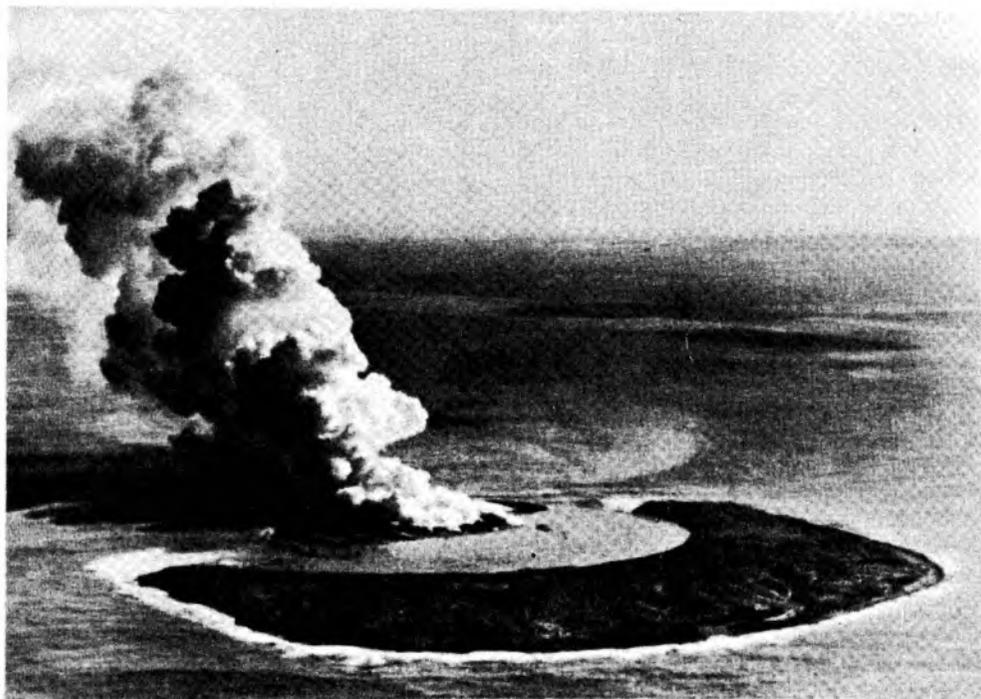
Большая часть гор, как показали геологические исследования, имеет вулканическое происхождение. Это отличительная особенность рельефа океанского дна. При этом подводные и надводные вулканы, расположение которых на безбрежных акваториях Мирового

океана на первый взгляд кажется хаотичным, на самом деле тянутся в виде цепочки или дуг. Они приурочены либо к срединным хребтам, либо к глубоким трещинам в литосфере, либо к системам вулканических островов в тех зонах, где происходит пододвигание океанической литосферы под континенты. Зачастую извержение подводных вулканов является причиной возникновения новых островов и архипелагов. Так, по утверждению геологов, весь Гавайский архипелаг общей протяженностью 1500 миль поднялся из моря в результате бесчисленных извержений, происходивших за последние 5—10 млн. лет.

О морском подводном вулканизме, распространенном на большей части земной поверхности (72 про-

цента площади занимает Мировой океан), мы, к сожалению, знаем очень мало. Известно, что лишь для 10—20 процентов от общего числа действующих вулканов Земли характерны подводные извержения; при этом речь идет преимущественно о таких, которые расположены в непосредственной близости от материков или островов или же в более отдаленных морских областях. Остается совершенно неизвестным, какие вулканические явления происходят в области рифтовых зон срединно-океанических хребтов под толщей воды в несколько тысяч метров. Не все рифтовые зоны в равной степени активны.

Извержение подводного вулкана в Тихом океане (в 1300 км от Токио)



Система рифтов Земли имеет в длину почти 70 тысяч км, и только на одном доступном наблюдению отрезке в Исландии на протяжении около 400 км насчитывается 28 действующих и потухших вулканов. В этом районе, кроме того, наблюдалось пять подводных извержений. Из этого можно составить, хотя бы приблизительно, представление о том, что может происходить на всем протяжении мировой рифтовой системы или сколько вулканов могут находиться в ее пределах.

Из всех известных в мире вулканов больше всего неприятностей сейчас доставляют человечеству «огненные горы», обрамляющие акваторию Тихого океана. Они образуют почти замкнутый круг, получивший вполне узаконенное название «Тихоокеаническое огненное кольцо». В него входят вулканы Японии, Филиппинских островов, Новой Зеландии, Южной, Центральной и Северной Америки. В этом же кольце находятся Камчатка и Курильские острова, на которых сосредоточены все действующие вулканы на территории нашей страны. Много действующих вулканов сосредоточено также в Средиземноморском и Зондском поясах. Имеются действующие вулканы и в самом тихом сейсмическом районе мира — в Антарктиде.

Попутно отметим, что вулканические явления присущи не только Земле, но и другим планетам Солнечной системы. По этому поводу еще в 1881 году газета «Современные известия» писала, что за последнее время было опровергнуто мнение, что Луна достигла состояния физического бездействия и стала «мертвой планетой». Одним из первых высказался против этого

мнения астроном Нейзон в своем замечательном сочинении о Луне. Он полагал, что на Луне и в настоящее время встречаются различные вулканические движения. Это предположение имеет немало сторонников. Один из астрономов сообщает, что во время своих последних наблюдений над Луной он видел на ней вулканическое извержение, длившееся полчаса, отчетливо видел кратер, и подробно обозначает его местоположение. Любопытно, писалось в газете, насколько дальнейшие наблюдения в состоянии будут подтвердить видимое астрономом явление.

Автору процитированной заметки, вероятно, небезынтересно было бы узнать, что 4 ноября 1955 года удалось наблюдать в лунном кратере Альфонс явления, близкие по характеру к извержению вулкана. Ныне также известно, что на Луне широко распространены базальты вулканического происхождения, встречаются выходы застывшей лавы. В результате полетов космических аппаратов к Марсу и на этой планете также обнаружены следы вулканической деятельности, которая, по-видимому, достигла, по мнению ученых, весьма значительных масштабов.

В свое время астрономы отметили на поверхности планеты область, выделяющуюся своей повышенной яркостью. Ее назвали Никс Олимпика, что означает — Олимпийские Снега. Теперь известно, что Олимп — гора-вулкан, расположен в марсианской местности Тарсис (Фарсида) и является, по-видимому, крупнейшим из вулканов всех планет. По диаметру основания (600 км), высоте (24 км) и ширине вершинной кальдеры (70 км) он превосходит все вулкани-

ческие постройки, известные на Земле, Луне и Меркурии.

Однако Олимпийские Снега не единственный вулкан-гигант, обнаруженный на Марсе. Недалеко от него располагаются по прямой линии с интервалом 1500 км еще три гигантских щитовых вулкана. Некоторые из вулканов Марса во многих деталях сходны с земными. На фотоснимках, переданных с «Маринера-9» на Землю, можно, например, на гигантском вулкане Аскрейское Озеро, расположенном недалеко от Олимпийских Снегов, различить вершинную кальдеру, очень похожую на кальдеру гавайского вулкана Килауэа.

Вулканические явления происходят и на больших спутниках планет-гигантов. Так, благодаря снимкам, полученным космическими аппаратами «Вояджер-1» и «Вояджер-2», стало известно о вземных извержениях вулканов на спутнике Юпитера Ио. Выброшенный во время одного из них столб газов поднялся над поверхностью Ио на 270 км! Одновременно наблюдавшиеся восемь извержений астрофизики объясняют внутренними гравитационными смещениями под влиянием приливных сил со стороны Юпитера и других спутников. В последнее время появилась гипотеза о том, что на ряде спутников Сатурна могут быть извержения вулканов с температурой внутри выбросов минус 95°. Делается попытка именно этим объяснить разнообразие отдельных участков рельефа (размытые полосы, длинные ложбины и другие элементы поверхности) на спутниках Тетис, Диона, Рея и Япет. Температура на них очень низкая (результат огромной удаленности от Солнца), в составе

рельефа много водяного льда и твердого метана. Этот водно-аммиачный лед может плавиться и извергаться на поверхность.

Мы убедились, что вулканизм не является исключительно земным феноменом, а представляет собой общепланетарное явление. Изучению вземного вулканизма сейчас уделяется большое внимание. Ему посвящаются даже международные симпозиумы и конгрессы, на которых рассматриваются масштабы проявления вулканизма и строение вулканических построек на различных планетах Солнечной системы.

Но вернемся на Землю.

В летописи земного вулканизма зафиксировано свыше 2500 крупнейших извержений, за исключением мелких и средних. Более 2 тысяч из них произошло в районах сосредоточения вулканов. В их числе было немало и таких, которые превратили в руины древние государства и уничтожили целые культуры (примером может служить санторинская катастрофа).

У каждого вулкана свой облик, характерные особенности. Вулкан развивается и изменяется до тех пор, пока «жив». Жизнь вулкана исчисляется нередко столетиями и даже тысячелетиями. Вулканы коварны, особенно действующие. Небезопасны и потухшие вулканы. Потухших вулканов довольно много насчитывается в раскаленных пустынях, в тропических джунглях, на Ближнем Востоке, в Карибском бассейне и в так называемом «огненном кольце», окружающем Тихий океан.

Статистика включает в число действующих лишь те вулканы, извержения которых отмечены на протяжении исторической эпохи,



Старинная гравюра, изображающая возникновение вулкана Монтенуова (Италия) в 1538 году

или те, которые проявляют активную деятельность. Между тем ученые считают, что это неправомерно ограничивает число действующих вулканов и искусственно относит к числу потухших такие вулканы, которые на самом деле погрузились в длительную «спячку».

Человечество уже не раз испытало на себе коварство потухших вулканов, не проявлявших признаков жизни длительное время. Приведем несколько примеров из текущего столетия в хронологическом порядке.

Остров Мартиника. Его по праву называют жемчужиной Антильских островов. Он сказочно красив. Неизвестно, кому первому пришла в голову идея заложить в уютной бухточке на севере острова город Сен-Пьер, в шести километрах от вулкана *Монтань-Пеле*. Город быстро разросся, не доходя полутора километров до вершины вулкана. Процветающий город стал одним из крупнейших центров на Карибском море. Жители Сен-Пьера и окрестных сел жили у подножия вулкана, не подозревая о грозящей им опасности. Воспоминание о слабом извержении 1851 года почти стерлось в их памяти. На поднимавшееся иногда над вершиной горы облако дыма горожане не обра-

щали внимания. Вершина горы была излюбленным местом воскресных экскурсий и прогулок.

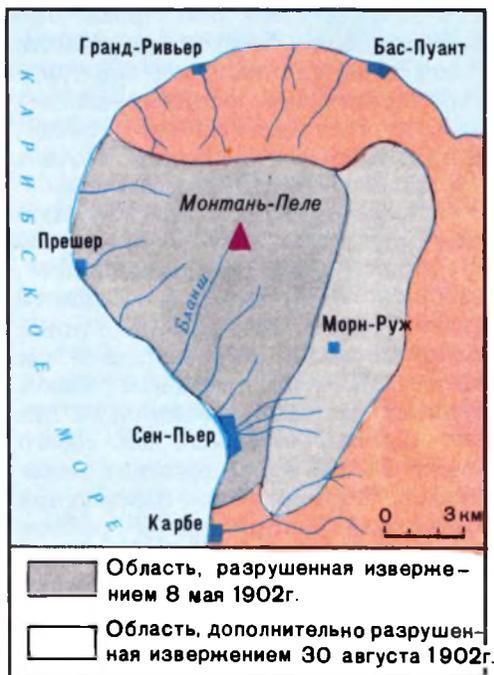
Весной 1902 года поведение Монтань-Пеле, безмятежно спавшего 50 лет, стало несколько необычным. В середине апреля вершина горы начала сильно куриться. Но это не взволновало жителей Сен-Пьера. Любопытные останавливались на улицах и наблюдали за подымавшимися над горой на фоне неба густыми клубами дыма. Никто еще не понимал масштабов реальной опасности.

23 апреля на город выпал небольшой пепловый дождь, сопровождаемый запахом серы. Начались также подземные толчки. В последующие дни пеплопад усилился, окрестности содрогались от землетрясений, в земле разверзлись зияющие трещины, на склонах горы забили вырвавшиеся из недр многочисленные горячие источники. 6 мая на Сен-Пьер низверглись десятки тысяч кубометров раскаленного пепла. Начались многочисленные пожары. Среди населения города поднялась паника. Обезумевшие от страха люди выбегали на улицы, прятались в подвалы, набивались в церкви.

Между тем местные власти ничего не предпринимали для эвакуации населения Сен-Пьера, так как на ближайшее воскресенье (11 мая) были назначены выборы и нельзя было допустить, чтобы хоть один избиратель покинул город до этого дня. 7 мая местная газета «Ле-Колони» объясняла читателям: «Монтань-Пеле представляет для Сен-Пьера не большую опасность, чем Везувий для Неаполя. Мы не видим причин для паники. Где еще за пределами Сен-Пьера можно найти такую защиту, как в городе?»

Однако в ночь на 8 мая сила извержений угрожающе возросла. С зарей 30 тысяч человек — жители города — бросились к морю как единственному выходу, запрудив набережные и пристани. Возвышаясь над охваченной ужасом мчащейся толпой, Монтань-Пеле дышал пламенем. В 7 ч 50 мин утра 8 мая силы Земли на миг притаились, наступило резкое затишье, словно для того, чтобы дать всей массе людей, спешившей к гавани, подумать о смерти. В 7 ч 59 мин раздался взрыв, подобный залпу орудий. Начался настоящий ад. Сторона вулкана, обращенная к городу, распахнулась как гигантская огненная дверь. Вырвавшаяся из нее огромная черная палящая туча с жут-

Северо-западная часть острова Мартиника с вулканом Монтань-Пеле



ким ревом, с невообразимой скоростью ринулась вниз по склону. За несколько секунд она достигла города, и Сен-Пьер исчез под огненным покрывалом (когда туча обрушилась на город, ее температура составляла почти 700°C). Все обитатели Сен-Пьера менее чем за минуту погибли. Большинство людей погибли из-за того, что у них были сожжены легкие. Было обнаружено также множество сморщенных или раздутых трупов: содержащиеся в организме человека жидкости превратились в пар, а затем испарились.

6 июля 1912 года на полуострове Аляска (США) пробудился и начал действовать вулкан *Катмай*. Его извержение было одним из самых мощных в истории природных катастроф нашего столетия. Но ни один человек не был непосредственным свидетелем этого явления, так как оно произошло в совершенно глухой местности. Лишь годы спустя, проделав трудный переход, небольшая группа исследователей достигла этого места. Когда ученые с большим трудом преодолели рыхлый пепел, покрывавший склон вулкана и окружающую местность, перед ними предстало зрелище грандиозного ландшафта, который они назвали Долиной Тысяч Дымов. Вся долина длиной около 25 км и шириной до 8 км была заполнена мощным слоем вулканических образований. За три дня Катмай выбросил из своего жерла 24 км³ вулканических материалов. Если бы такое извержение произошло, например, в районе Берлина, писал Григгс, то его можно было бы наблюдать из Йены, а сопровождающий его грохот был бы слышен в Риме. Огненные выбросы полностью уничтожили

бы большую часть провинции Бранденбург, а газы и испарения пронесли бы почти над всей Западной Европой. Даже в Вене капли дождя, содержащие кислоту, вызывали бы болезненные ожоги. Пары серной кислоты разъедали бы незащищенную латунь и белье, вывешенное для просушки, вплоть до Каира. В более близких районах, например в Лейпциге, пепел лежал бы слоем в 30 см, и город был бы около 60 ч погружен в темную ночь.

Много сотен лет не проявлял никакой деятельности вулкан *Безымянный* на Камчатке. На эту небольшую, безликую сопку, само название которой «Безымянная» подчеркивало ее незначительность, долгое время никто не обращал внимания. Вулкан считался потухшим. Однако 22 октября 1955 года Безымянный неожиданно задымствовал, и над ним на высоту нескольких километров поднялась газопепловая туча. Извержение то усиливалось, то ослабевало, продолжалось непрерывно почти до конца года.

В дальнейшем, уже в 1956 году, происходило лишь спокойное выделение газов и отчасти пепла. А потом случилось с вулканом совершенно непредвиденное: 30 марта 1956 года произошел грандиозный взрыв, который длился в течение 17 секунд. Взрыв обезглавил гору (вершина конуса понизилась на 200—300 м, в результате образовался кратер размером 1,5×2 км), взметнул ее обломки на сорокакилометровую высоту. В общей сложности объем взорванных и выброшенных Безымянным вулканических продуктов составил около 2 км³. Титанический взрыв стер с лица Земли 500—600 км² густых лесов.

За один год бодрствования Безымянной сопки приборы зарегистрировали 30 тысяч больших и малых извержений.

Подобно Безымянному никогда не вызывал серьезных опасений у жителей портового города Вестманнаэйяр потухший вулкан Хельгафедль, расположенный на небольшом острове Хеймаэй у южного побережья Исландии. 23 января 1973 года вулкан внезапно проснулся. Целые сутки отмечались слабые сотрясения земной коры, затем в склоне вулкана, как раз над городом, разверзлась трещина длиной 640 м, из которой начала изливаться лава. В тот же день длина трещины увеличилась до 1500 м. Вдоль нее образовалось 10 действующих вулканических кратеров. Высоко вверх поднялись вулканические облака, освещенные отблеском подземного жара, и начался интенсивный выброс пепла, кусков пемзы и каменных глыб. Из полуторакилометровой трещины ежесекундно фонтаном высотой 100 м извергалось до 100 м^3 лавы. Она стекала в море к востоку от гавани, и через две недели площадь острова увеличилась более чем на 2 км^2 . Спустя три месяца, к концу апреля, каждый четвертый из 1200 домов Вестманнаэйяра был залит лавой или засыпан песком. Зелень острова сменилась черным покровом пепла.

Извержение Хельгафедля, одно из самых крупнейших в истории, продолжалось 5 месяцев и 5 дней. За это время буйствующий вулкан выбросил из своего чрева на поверхность острова и его окрестности в общей сложности более 250 млн. м^3 лавы и пепла. Вестманнаэйяр превратился в Помпею XX века. Тысячи исландцев оста-



Город Вестманнаэйяр (Исландия), пострадавший во время извержения вулкана Хельгафедль

лись без крова, без работы. Огромный урон понесли не только жители этого маленького островка, но и вся экономика страны. Хеймаэй с его редкой по красоте бухтой был одним из основных центров рыбоперерабатывающей промышленности Исландии, приносящим 13 процентов национального дохода. Потеря значительной части производственных мощностей, равно как и вынужденный перерыв в работе уцелевших фабрик, с одной стороны, и солидные суммы, выделенные властями для материальной помощи пострадавшему населению, с другой, — все это очень усложнило экономическое положение небольшого островного государства.

В 1980 году после 123-летнего сна внезапно пробудился вулкан Сент-Хеленс на северо-востоке США (штат Вашингтон). Слепительно белый пик горы (2975 м) вдруг слегка сдвинулся в сторону и медленно, словно нехотя, как бы поднялся в воздух. Из жерла вулкана вырвался гигантский столб

серого пепла вперемишку с дымом, рассыпаясь в воздухе в форме гриба, и в Медвежьей Долину ринулся поток газа, камней, воды, песка, сметая все на своем пути.

Никто не ожидал столь коварного и буйного проявления нрава Сент-Хеленса. Правда, ученые заблаговременно заметили, что 96-метровый пузырь старой застывшей магмы внутри горы вдруг стал подозрительно быстро увеличиваться в размерах. Специалисты высказали опасение, что может произойти извержение или мощный обвал, но никто из них не взялся предсказать, когда это случится, а тем более не мог себе представить, что вулкан взорвется с силой десятимегагатонной бомбы, что произойдет грандиозное извержение. Под давлением подземных вод и газов вулкан выбросил в атмосферу 400 млн. т земли и скального грунта.

Это случилось 18 мая 1980 года. В 8 ч 32 мин взорвалась боковая стенка горы, и поток пепла и камней ринулся вниз. Затем, после второго взрыва, поток пепла рванулся вверх до высоты 18 тысяч метров. Потоки ветра подхватили облако и направили его на запад. От взрывной волны, распространявшейся со скоростью 320 км в час, 45—50-метровые ели, как по мановению волшебной палочки, вылетали с корнями из земли и ломались, словно спички или хрупкие соломинки. Под слоем пепла исчезло на протяжении 24 км русло реки Тутл. Пыльное облако достигло небольшого города Якима, расположенного в 136 км от вулкана, превратив солнечное майское утро в темную ночь. Облако пепла появилось над восточными районами штата Вашингтон, север-

ных графств Айдахо, западной части Монтаны, вызвав транспортные заторы на автомагистралях. Несколько дней спустя туча достигла побережья Тихого океана.

Когда стихия угомонилась, взору спасателей, прибывших на вертолетах в район бедствия, открылся поистине лунный пейзаж: насколько хватало глаз все было покрыто слоем серого пепла, толщина которого местами доходила до 50 см. Ни движения, ни единого цветного пятнышка на унылом фоне погибшей природы. Коническая вершина вулкана исчезла, а вместо снежной шапки — черный провал.

Взрыв полностью уничтожил заросли хвойных лесов на площади 400 км². В результате пепловых дождей погибло около двух миллионов единиц птиц и зверья, миллионы особей рыб ценных красных пород. По заключению специалистов безжизненный ландшафт из пепла сможет ожить лишь через 100—200 лет.

Весной 1982 года в мексиканском штате Чьянас после 1200 лет сна взорвался вулкан *Эль-Чичона*. Последний раз он был обследован немецкими учеными в 1928 году и с тех пор особого интереса у естествоиспытателей не вызывал, так как считалось, что вероятность его извержения крайне незначительна. Но через 54 года он заявил о себе на весь мир. Ночью 28 марта жители многих мексиканских селений были разбужены мощным гулом — ожил вулкан. Лава, заломбившая жерло кратера, не дала газам стравливаться постепенно. И они накопили громадную энергию. Из кратера на высоту 17 км поднялся столб пепла, камней и газов. Но это

была лишь прелюдия к разразившейся катастрофе.

3 апреля сейсмографы в шести точках вокруг Эль-Чичона зарегистрировали более 500 подземных толчков. Затем гора содрогнулась от мощнейшего взрыва (отголоски его были зарегистрированы даже сейсмостанциями в Антарктиде) — началось второе извержение. Оно продолжалось всю ночь, но к утру, казалось, стало затихать. Рано утром произошел новый, самый сильный выброс: на окрестности обрушился каменный град, в течение 44 часов небо закрывала непроницаемая туча вулканической пыли. Ее хватило, чтобы покрыть слоем пепла территорию четырех штатов. Непроглядная тьма окутала землю, и лишь спустя несколько дней слабые лучи солнца осветили печальную картину разрушений. За неделю извержения Эль-Чичона рельеф и пейзаж здешних мест изменились до неузнаваемости. Под слоем пепла и скальных обломков исчезли десятки деревень и деревушек. Еще недавно цветущая и плодородная долина превратилась в мертвую, серую и безжизненную пустыню.

Дыхание огненного Эль-Чичона не только опустошило обширные области юга Мексики, лишило жизни большое число людей, но и приобрело глобальный характер: вызвало погодно-климатические изменения на всей планете.

Еще не сошли со страниц мировой печати воспоминания очевидцев о страшных днях Эль-Чичона, еще продолжали ученые горячо обсуждать волнующий вопрос, когда проснется вновь вулкан, как появились экстренные сообщения о начавшемся в апреле 1982 года извержении вулкана *Галунгунг*,

расположенного на Западной Яве, в 160 км к востоку от города Сукабуми и в 210 км от столицы Индонезии Джакарты. Последний раз вулкан был активен в 1882 году, когда он выбросил 100 млн. м³ рыхлых масс, покрывших территорию 25 660 км². Грязевые потоки произвели большие опустошения. И вот через 160 лет Галунгунг вновь ожил: взрывами огня, кипящей лавой, бомбами раскаленных камней, пепельными дождями обрушился на близлежащие деревни. С апреля по июнь произошло восемь извержений вулкана. Три кратера-великана посылали на землю Индонезии пепельные дожди и туманы. Небо над городом Сукабуми затянуло черными тучами. Огнедышащая лава уничтожила 22 деревни, заживо погребла сотни людей.

Но пожалуй, самый страшный урок человеческой доверчивости к потухшим вулканам преподнес вулкан *Руис*.

Этот вулкан высотой 5398 м находится в Колумбии, в 150 км к северо-западу от столицы Боготы. Последний раз он извергался в 1595 году. С тех пор в течение почти пятисот лет он не подавал признаков жизни, и его давным-давно считали потухшим. Однако 12 ноября 1985 года во второй половине дня из кратера Аренас начался выброс пепла.

На следующий день в 21 ч по местному времени один за другим раздалось несколько взрывов. Мощностъ самого сильного взрыва по оценкам экспертов составила около 10 мегатонн. В небо поднялся столб пепла и обломков горной породы высотой 8 км. Начавшееся извержение вызвало мгновенное таяние обширных ледников и веч-

ных снегов на вершине вулкана. По склонам Руиса лавиной устремились вниз образовавшиеся селевые потоки. К ночи гигантские лавины из лавы и кипящей грязи, скальных обломков и пепла достигли города Армеро. Толщина грязекаменного потока достигала пяти и более метров. По словам пережившей катастрофу Клары Инес Корреа: «...люди в панике метались по улицам города. Погас свет, и все освещало лишь кошмарное красное зарево вулкана. Земля разверзлась, проглатывая людей. А потом все захлестнула грязь. Я видела, как захлебнулись в ней мои сестры, но ничего не могла поделать. Мне чудом удалось забраться на дерево, несмотря на то, что были сломаны обе ноги... С неба продолжал падать горячий пепел, и стоял невыносимый жар...»

Грандиозный поток смертоносной жижи практически стер с лица Земли город Армеро. От некогда чистого, зеленого городка с населением 20 тысяч человек уцелело лишь несколько полуразрушенных домов. Более $\frac{2}{3}$ жителей остались лежать под толстым слоем селя, обломками зданий. Многочисленные жертвы и разрушения имели место также в поселке Чинчина, расположенном на одноименной речке в 27 км от вулкана.

Сильно пострадали от извержения также населенные пункты Либано, Вильяэрмоса, Касабьянка, Мурильо. Селевые потоки повредили нефтепроводы, прекратилась подача топлива в южные и западные части страны. В результате резкого таяния от высокой температуры лежавшего в горах Невадод-Руис снега вышли из берегов близлежащие реки. Мощные потоки воды размыли автомобильные

дороги, снесли опоры линий электропередачи и телефонной связи, разрушили мосты.

Разбушевавшийся Руис после пятивековой спячки практически уничтожил все вокруг себя в радиусе 150 км. Колоссальный ущерб извержение причинило кофейным плантациям, большинство которых расположено как раз в плодородных долинах в окрестностях вулкана. Кофе — главная сельскохозяйственная и экспортная культура Колумбии. На долю этого продукта приходится до 60 процентов от всего национального экспорта.

По официальному сообщению колумбийского правительства в результате извержения вулкана Руис погибли и пропали без вести более 23 тысяч человек, около 5 тысяч получили серьезные ранения и увечья. Полностью разрушено более 4500 жилых домов и административных зданий. Десятки тысяч людей остались без крова.

По мнению специалистов, причиной такого извержения вулкана Руис стало резкое повышение давления на глубине от 50 до 100 км. Оно является следствием того, что гигантская тихоокеанская плита толщиной в 100 км продвигается под континентальный шельф западного побережья Южной Америки (скорость продвижения составляет около 9 см в год). В результате трения, возникающего в недрах Земли, выделяется избыточное тепло, образуются газы, которые устремяются вверх. Некоторые ученые не исключают взаимосвязи между этим извержением и недавним землетрясением в Мексике.

Но какова бы ни была истинная причина извержения колумбийского вулкана Руис, происшед-

ший катаклизм — самая ужасная катастрофа такого рода в Латинской Америке в нашем веке.

Повышенную активность этот вулкан стал вновь проявлять в середине 1986 года.

В августе 1986 года разыгралась трагедия в северо-западной провинции Камеруна, где проходит протянувшийся от побережья горный вулканический массив Центральной Африки. Его самая большая знаменитость — действующий вулкан-четырёхтысячник Камерун (4070 м). Последний раз он подавал голос в 1980 году. В этом горном массиве имеется немало и потухших вулканов. В одном из кратеров такого вулкана расположено озеро Ниос, о котором мало кто знал в мире до рокового дня 21 августа 1986 года.

В тот вечер ничто не предвещало беды жителям прибрежных деревень. Покончив с привычными крестьянскими заботами, они ужинали, готовились лечь спать. Мужчины отдыхали после работы в поле, женщины хлопотали по хозяйству, дети играли возле хижин. Над крышами плыли дымки от домашних очагов. Как всегда спокойными были воды Ниоса, давшие ему прозвище мирного озера. Люди и не догадывались, что на глубине озера уже готовились к пробуждению мощные подземные силы. Последнее, что слышали многие в своей жизни, — мощный взрыв. В этот момент со дна Ниоса под сильным давлением вырвалось огромное плотное облако токсичного газа.

Не прошло и нескольких минут, как это ядовитое облако, подхваченное ветром, преодолев приподнятую кромку берега, начало расползаться по окрестностям, при-

жимаясь к земле и оседая в низинах. Деревенские жители, которые легли спать, задохнулись, так и не разомкнув глаз. Бодрствовавшие выбегали из своих хижин, переворачивая на ходу столы, стулья, кухонную утварь, пытаясь скрыться от несущего смерть облака. Некоторые в отчаянии сдирали с себя одежду, не вынося жжения, вызванного газом. Всего «мирное озеро», ставшее «озером-убийцей», погубило 1800 человек.

Помимо Ниоса серьезно пострадали деревни Су-Бум, Ча и Фанг. 20 тысяч человек пришлось эвакуировать из зоны бедствия. Экономический ущерб трудно подсчитать. Катастрофа у озера Ниос, как считают специалисты, может серьезно сказаться на сельскохозяйственном производстве в этом районе: ядовитое облако накрыло плодородную землю.

Облетевшее весь мир сообщение о трагической катастрофе, происшедшей в Камеруне у озера Ниос, вызвало бурную реакцию ученых многих стран. Сразу же посыпались гипотезы о том, какие именно газы истребили жителей побережья «мирного озера», что послужило причиной их выброса. Первые свидетельства пострадавших, с одной стороны, указывали на то, что из озера вырвался сероводород: они рассказывали, что в воздухе стоял характерный резкий запах тухлых яиц. Сероводород в высоких концентрациях убивает почти мгновенно, и средства, способного нейтрализовать в этом случае его действие, пока нет. Но с другой стороны, облако явно было тяжелее воздуха: газы накапливались в низинах, и деревни, расположенные на возвышениях, не пострадали. Это заставило некоторых ученых

высказать предположение, что речь идет об углекислом газе: люди и животные погибли не от отравления, а от удушья.

В 1984 году в той же части Камеруна из озера Манун, во многом схожего с Ниосом, поднялся именно углекислый газ. Тогда погибли 37 человек. Аналогичные случаи были зафиксированы в 1903 году в Индийском океане в районе вулкана Каргала: 17 человек лишились жизни; в 1949 году в Колумбии во время работы у вулкана Турейс от удушья погибли 16 геологов.

Советские ученые выдвинули предположение, что облако на Ниосе по химическому составу было близко к обычному составу вулканических газов, даже малая концентрация которых в воздухе может привести к смертельным исходам.

Что же касается причин, вызвавших трагическую катастрофу в Камеруне, то единого мнения на этот счет у ученых нет. Одни считают, что где-то под землей образовалась полость, в которой постепенно в течение многих лет под большим давлением накапливались токсичные вулканические газы. Дно озера играло роль своего рода пробки, которую вышибло 21 августа в результате внезапного всплеска сейсмической активности.

Другие полагают, что на склоне кратера, в котором расположен водоем, произошел грязевой оползень, достигший дна и повредивший его. В результате могли вскрыться подземные полости, скопившиеся там газы вступили в реакцию с внешней средой и были выброшены взрывом на поверхность. Помимо этих есть и много других версий трагедии в Камеруне. По-видимому, катастро-

фа произошла в результате ряда редко совместимых обстоятельств. Не исключено, что подобный катаклизм может повториться. Такая угроза, по мнению ученых, реально существует: северо-запад Камеруна — зона высокой вулканической активности.

По мнению профессора *Г. Тазиева* на земном шаре сейчас находятся на точке извержения около двух десятков потухших вулканов. Из них по меньшей мере 6—7 угрожают разрушить такие многонаселенные города, как Неаполь в Италии, Клермон-Ферран во Франции и американские города — Сиэтл, Вашингтон, Портленд и Орегон, расположенные прямо на вершинах потухших вулканов или в непосредственной близости от них.

По всему миру разбросано много тысяч потухших вулканов (только на Камчатке их в общей сложности около трех тысяч!). «В один прекрасный день,— пишет Г. Тазиев в своей книге «Встречи с дьяволом»,— они могут проснуться и после нескольких недель или месяцев относительно умеренной деятельности вдруг разразиться колоссальным взрывом. Подобный катаклизм сметет все вокруг на площади в несколько тысяч квадратных километров...»

Не исключено, что в ближайшее время дадут о себе знать и тихо дремлющие иранские вулканы. Все более и более опасной становится ситуация в Средиземноморье.

17 марта 1981 года над Сицилией разверзся ад. Его учинил в очередной раз проснувшийся вулкан *Этна*. Для землян во всех остальных частях света извержение Этны, еще одно из 10—20 происшедших в нынешнем столетии,

осталось почти незамеченным. Для жителей же поселка Рандаццо этот день стал настоящим кошмаром. Горящий пепел окрасил небо в красный цвет, воздух наполнился серой, а потоки лавы уничтожили в это время самые плодородные земли.

28 марта 1983 года жители Сицилии вновь стали свидетелями очередного «пробуждения» Этны. Почти два месяца бесновался вулкан. Его лава поглотила несколько туристических комплексов, сотни гектаров виноградников, фруктовых садов, выжгла большие лесные массивы. Ущерб, нанесенный экономике района, огромен.

14 сентября 1986 года Этна проснулся еще раз. Через десять дней, 24 сентября, электронные приборы, установленные вокруг вулкана, начали фиксировать извержение. Из кратера вырвалась огненная лава, сопровождаемая сильными выхлопами газа, — возник своеобразный ярко-красный фонтан, бивший на высоту более 100 м. Через десять минут фонтан «обессилел», но из кратера по склону вулкана потекли языки лавы. Далее произошло еще одно явление, подобное которому отмечалось вулканологами в 1979 году. Из кратера вырвался и достиг высоты двух километров столб пепла. Он стал оседать на улицах, дорогах, крышах домов, в городах Катания, Ачиреале, Рипосто. На центральной улице Тремествьери толщина выпавшего пепла достигла 20 см. Извержение вулкана нарушило жизнь сицилийцев. Закрыт был аэродром Катании, на дорогах произошли аварии.

Гора Этна на удивление молода. От нее каждый день, месяц, год можно ожидать любой «причуды». Журналист *Пьетро Николози* гово-

рит, что местные жители после последнего извержения Этны теперь, укладываясь спать, оставляют один глаз открытым, чтобы следить за вулканом.

Неспокойно на душе у 2,3 млн. индонезийцев, проживающих на склонах и в окрестностях 128 активных вулканов, из которых 66 классифицируются как крайне опасные. На наиболее густонаселенном острове Ява находится 21 вулкан. Каждый из них, по мнению индонезийских вулканологов, может вызвать стихийное бедствие, аналогичное происшедшему в ноябре 1985 года в Колумбии.

В настоящее время в опасной близости к действующим и спящим вулканам проживает около 200 млн. человек. Иными словами, вулканические извержения сегодня угрожают приблизительно $\frac{1}{10}$ того числа жителей Земли, которым грозят землетрясения.

По данным статистики ежегодно на земном шаре происходит 20—30 вулканических извержений (были годы, когда число извержений доходило до 40—45). В общей сложности только в текущем столетии на нашей планете зарегистрировано более 1500 вулканических извержений. Каждый год жертвами проснувшихся, постоянно действующих вулканов становится в среднем почти тысяча человек (это число включает не только сгоревших в лавовых потоках и задохнувшихся под пепловыми дождями, но и умерших от голода вследствие гибели урожая, засыпанного слоем горячего пепла). По расчетам одного из зарубежных ученых *К. Сиппера* за период с 1500 по 1914 год вулканы лишили жизни около 190 тысяч человек. По статистике ЮНЕСКО за последние 500



Вулканы Камчатки



Действующий вулкан Авачинская Сопка
(2741 м)



Вулкан Кроноцкая Сопка (3528 м) — один
из красивейших по форме стратовулканов
Земли



Вулкан Крашенинникова — сложная вулканическая постройка, сформировавшаяся в результате нескольких извержений

лет от вулканических извержений и их последствий погибли 200 тысяч человек.

Трагические последствия грозной, неуправляемой стихии давно побудили ученых заняться поиском симптомов будущих извержений,

которые могли бы лечь в основу разработки точного метода предсказания надвигающейся беды, свести к минимуму человеческие жертвы и материальный ущерб. Начав вести еще в середине прошлого века¹ научные наблюдения за поведением каменных исполинов, проводя в различных районах вулканической активности геологические, геодезические, геофизические и геохими-

¹ В 1845 году была организована вулканологическая обсерватория на Везувии, позднее они появились на Этне, Гавайи, в Японии, Индонезии и других местах. Далее по мере развития вулканологических знаний в различных областях активного вулканизма расширилась сеть вулканологических станций, обсерваторий, лабораторий, задачей которых было не только изучение вулканов, наблюдение за ними с помощью соответствующих приборов, а главное — выявление и накопление верных предвестников, на основе которых можно было бы составлять краткосрочные прогнозы о времени, месте, силе и типе готовящихся извержений.

В 1935 году на Камчатке, в поселке Ключи, была организована Ключевская вулканологическая станция. Перед ней были поставлены широкие научные задачи, касающиеся



ческие исследования, ученым удалось выявить ряд признаков — предвестников близкого извержения: мелкие землетрясения (они иногда начинаются за несколько недель до катаклизма), наклоны земной поверхности (они больше всего увеличиваются у подножия вулканов в преддверии извержения), изменения магнитного и гравитационного полей, повышение

Кратерное озеро Карымское. На заднем плане вулкан Карымский

температуры горных пород и природных вод, изменение химического состава выделяющихся газов и др.

На основании всех этих предвестников и главным образом по интенсивности мелких землетрясений за последние 40 лет в неко-

изучения характера вулканической деятельности, типа извержений и вещественного состава вулканических продуктов, а также, что очень важно, накопления признаков по предвидению извержений и некоторые другие.

В 1946 году для координации и более широких исследований в этой области была создана Лаборатория вулканологии АН СССР, в которую вошли Ключевская вулканологическая станция, а также организованная при ней сейсмическая станция. В Петропавловске-Камчатском был создан Институт вулканологии Дальневосточного научного центра АН СССР — крупнейший, ныне широко известный во всем мире исследовательский центр, в многочисленных лабораториях которого решаются актуальные теоретические и практические задачи вулканологии.



Действующий вулкан Корякская Сопка
(3456 м)

торых странах учеными было предсказано довольно точно несколько сильных извержений вулканов. Большая часть этих верных прогнозов (Безымянного вулкана в 1959, 1960 и 1961 годах, Шивелуча в 1964 году, Плоского Толбачика в 1975 году, Горелого в 1980 году) принадлежит советским ученым, сотрудникам Института вулканологии ДВНЦ АН СССР.

И все же, несмотря на определенные успехи, достигнутые советскими и зарубежными учеными в выявлении разнообразных предвестников, в разработке на их основе некоторых методов оперативного прогноза извержений, которые в ряде случаев позволили своевременно предупредить людей о надвигающейся катастрофе, было бы заблуждением считать, что проблема надежного, точного прогнозирования деятельности вулканов решена.

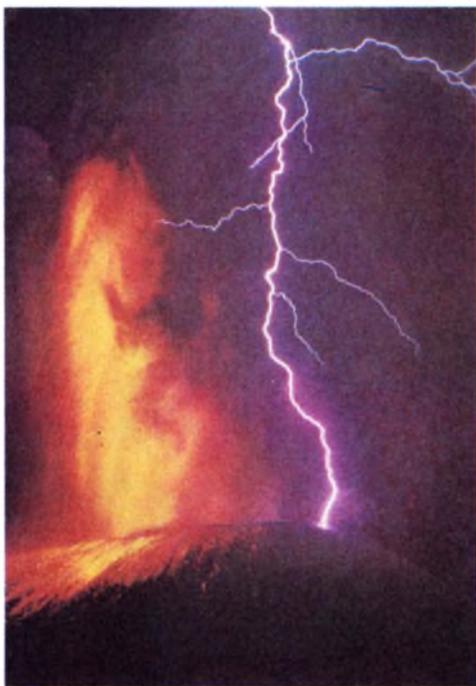
В чем же заключаются трудности, не позволяющие ученым выдавать точный оперативный прогноз каждого назревающего вулканического катаклизма, если известны многие выявленные предвестники извержений? — резонно может спросить читатель.

Да, основных и вспомогательных предвестников сейчас известно немало. Вулканологи ими пользуются при прогнозировании извержений. Но беда в том, как справедливо отмечает в своей книге «Физические аспекты природных катастроф» крупный австрийский ученый А. Я. Шейдеггер, что «ни один из упомянутых признаков не

В 1975 году произошло трещинное извержение вулкана Толбачинский (3682 м). Извержение началось по древнему вулканическому разлому.

В результате быстрой дегазации образовался огненный «каменный факел», состоящий из раскаленных газов, вулканического пепла и вулканических бомб. В первые дни изгала 10—12 километров. Над местом извержения происходили мощные электрические разряды.





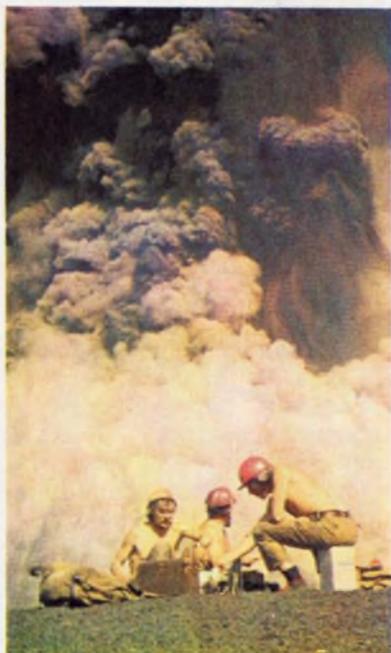
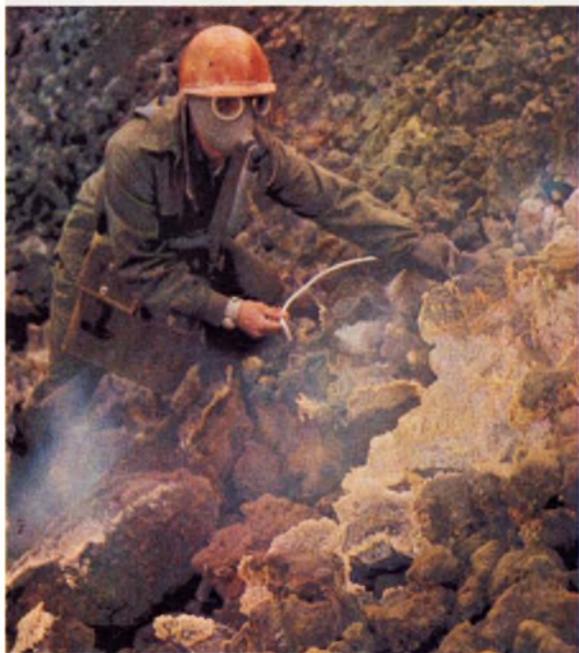
В результате извержения образовались шлаковые конуса вдоль разлома. Огромная территория была погребена под слоем вулканического пепла. В первые дни извержения погибли леса и вся растительность на склонах вулкана, вскипели водоемы. Вулканологи вели наблюдения за ходом и режимом извержения вулканов, работали с различными приборами.

обеспечивает надежного прогноза»¹.

Почему? — может спросить читатель.

К сожалению, как уже указывалось, каждый вулкан отличается от другого своим поведением; у каждого свой темперамент, и результаты исследований, полученные на одном из них, не могут автоматически переноситься

¹ Шейдеггер А. Физические аспекты природных катастроф.— М., 1981.— С. 66.



на другой. Перед извержением с помощью специальных приборов могут быть обнаружены его предвестники, например характерные колебания почвы. И все же этого недостаточно, чтобы точно предсказать, когда и в каком именно участке начнется извержение. Может случиться, и случалось не раз, что эти сигналы оказывались ложными. Сказанное относится и к таким признакам, как изменение электропроводимости, повышение температуры горных пород и др. Словом, пользуясь всеми известными ныне предвестниками, дать абсолютно точный прогноз, где и когда вырвется «джин» из конуса разбросанных по всей планете каменных «бутылей», не так-то просто, поскольку мы имеем дело со слепой стихией.

Известный в Чехословакии специалист в области геологии *Зденек Кукал* считает, что при современном уровне знаний, оснащении вулканологических станций измерительной и информационной техникой «катастрофические вулканические извержения могут быть предсказаны более точно, приблизительно на 50%»¹. Иными словами, из 20—30 ежегодно происходящих извержений на земном шаре каждый второй прогноз может оказаться ошибочным, неверным.

Парадоксально, но факт, и о нем нельзя не сказать, что в оценке реальной возможности точного прогнозирования вулканических извержений среди геологов, геофизиков и других специалистов, занимающихся наукой о Земле,

единого мнения нет. Видный английский ученый-геолог *Тони Уолтхэм* в книге «Катастрофы: неистовая Земля» пишет: «...При крупных масштабах бедствия вулканологи сталкиваются с проблемой: тревожные сигналы о катастрофах, происходящих в отдаленных районах, поступают лишь тогда, когда уже поздно что-либо предпринять». И далее Уолтхэм заключает: «В большинстве случаев прогнозы не могут быть точными»². Еще более категорично высказывание президента Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли *Б. Болта*. В книге «Землетрясения», изданной на русском языке, он утверждает: «...Точный прогноз опасных извержений до сих пор невозможен, и вряд ли его когда-нибудь удастся осуществить практически»³.

ДАРЫ ВУЛКАНОВ

У читателя может сложиться представление, что вулканизм является одной из природных стихий, исключительно враждебных по отношению к человеку. Однако это представление необходимо смягчить, ибо, чем дальше мы проникаем в тайны «огнедышащих гор», тем больше убеждаемся, что разрушения — это только внешняя сторона вулканизма. У вулканов в их жизнедеятельности много положительных сторон, и мы постараемся их показать.

¹ Кукал З. Природные катастрофы.— М., 1985.— С. 23.

² Уолтхэм Т. Катастрофы: неистовая Земля.— Л., 1982.— С. 65.

³ Болт Б. Землетрясения.— М., 1981.— С. 68.

Вулканы не только сеют смерть и разрушения: они, словно двуликий Янус, одновременно являются и великими созидателями. Например, учеными собрано немало данных, убедительно говорящих о том, что земная кора, водная оболочка и атмосфера образовались в течение миллиардов лет преимущественно из продуктов вулканической деятельности. Если учесть, что «без вулканизма не было бы ни атмосферы, ни гидросферы, ни жизни», то уже одно это могло бы послужить столь всеобъемлющим свидетельством в пользу вулканизма, что причиняемый ущерб как бы отступает в тень. Мы стараемся указать на ту конкретную пользу, которую вулканизм принес и будет приносить людям в обозримом будущем.

Итак, вулканы прежде всего «созидатели» новых земель. После каждого крупного извержения на десятки и сотни километров в округе обрушивается не только огненный смерч, но и падает «манна небесная» — вулканический пепел, содержащий почти все необходимые для роста растений питательные вещества, формирующие легкие воздухо- и водопроницаемые почвы. Хорошо обводненные и легко обрабатываемые вулканические пеплы, как правило, дают высокие урожаи различных фруктов, злаковых культур и кофе.

Люди давно по достоинству оценили высокую, ни с чем не сравнимую плодородность вулканических почв и начали возделывать их с незапамятных времен. Имеются письменные источники, свидетельствующие, что вокруг Везувия и на его склонах собирались обильные урожаи винограда более двух тысяч лет назад.

Известен такой исторический факт. Когда Спартак поднял рабов на борьбу с Римом в 73 году до н. э. и атаковал с гор легионеров, то для этого он воспользовался произраставшими на Везувии виноградными лозами: из них были сплетены веревки, при помощи которых гладиаторы спустились вниз по круче, считавшейся непреодолимой. И сегодня, несмотря на мрачное прошлое Везувия, на его широких и плодородных склонах селятся люди.

Аналогичная картина наблюдается и в Индонезии, в особенности на ее главном острове — Яве, где на склонах вулканов раскинулись рисовые поля, так как рис — главная продуктивная культура страны.

Изумрудно-зелеными террасами рисовых полей покрыты не только мрачные серые склоны спящих вулканов, но даже склоны Мерапи — одного из активнейших вулканов мира.

На Лансороте (Канарские острова, Испания) на местных вулканах жители собирают богатейшие урожаи винограда и зерновых. Склоны вулканов Центральной Америки покрыты обширными плантациями кофе. Жители Азорских островов, Южной Японии усиленно используют вулканы как природную агрохимическую службу, активно удобряют пашню вулканическими выбросами, содержащими фосфор, калий и другие элементы, повышающие урожайность.

Наряду с вулканическими пеплами широко используются и лавовые потоки. Они относительно легко выветриваются и через несколько лет становятся пригодными для возделывания, в частности для культивирования тропических фруктов. Именно исключительное



Столбчатые лавы (остров Кунашир)

плодородие почв привлекает людей в вулканические районы.

Но вулканы не только чудесные «земледельцы». Они поставщики многих минералов. Так, например, вулканизм Восточно-Африканского рифта примечателен высоким содержанием в лавах, парах и минеральных водах карбоната натрия (сода). Дно долины повсюду покрыто белыми едкими корками соды, осажденной из источников или выделившейся из вулканических пеплов и превратившей озеро в высокощелочные горькие водоемы, о чем свидетельствует и само название — «содовые озера». Среди минералов, образование которых связано с деятельностью вулканов, особое значение для химической

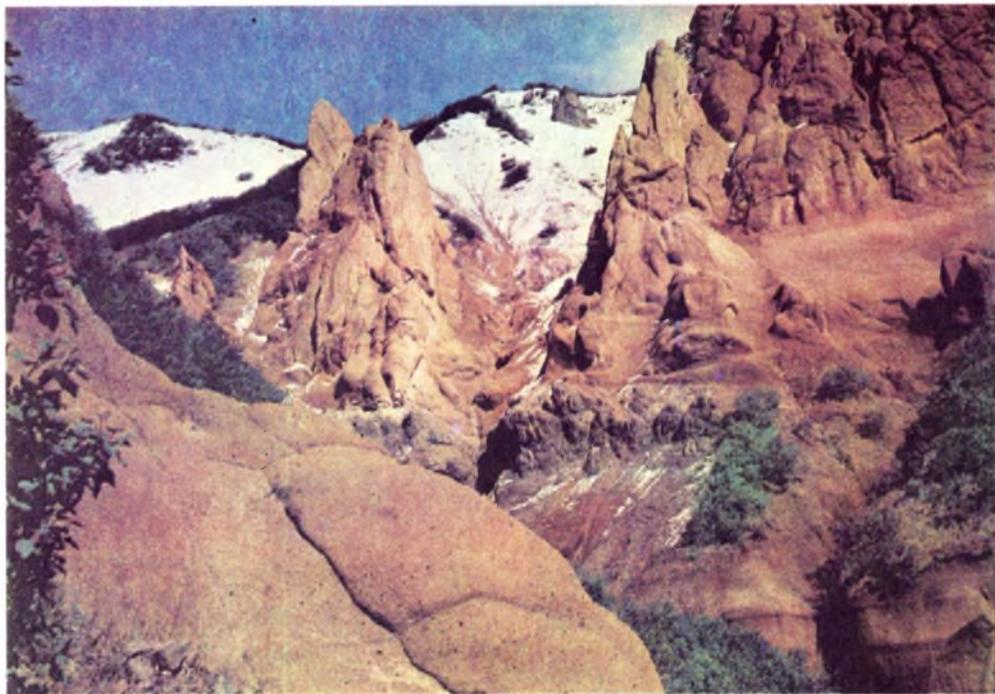
промышленности имеют сера, борная кислота, киноварь и нашатырь. Недавно, после происшедшего одиннадцать лет назад толбачинского извержения, советские вулканологи открыли новый минерал — толбачит.

Несколько раньше на этом же вулкане был обнаружен минерал, названный пийпитом — в память об организаторе и первом директоре Камчатского института вулканологии Дальневосточного научного центра Академии наук СССР *Б. И. Пийпа*.

Некоторые вулканические лавы используются в строительной промышленности. Одним из примеров может служить пемза. Самым знаменитым месторождением чистой пемзы является Монте-Пелато на острове Липари (Италия), где ее скопления большой мощности были образованы во время грандиозного извержения в VI веке.

Пемза имеется во многих местах Камчатки, встречается она и в Армении. Образуется пемза из монокристаллических пород, весьма насыщенных кремнеземом. Такая порода вспенивается, будучи еще в расплавленном состоянии, а застывая, превращается в пористую, губчато-ноздреватую массу, которую называют каменной ватой. Пемза обладает многими ценными качествами, такими, как твердость, однородность, легкость. Поэтому она используется в строительном деле как тепло-, звуко- и электроизоляционный материал, для приготовления легкого пемзобетона, а также как абразивный материал для полировки и шлифования.

Заслуженной славой пользуются вулканические туфы. Эти породы сложены материалом, который выбрасывается при вулканических



взрывных извержениях. Туфам присущи многие ценные качества: высокая пористость, низкая тепло- и звукопроводимость, мягкость, в результате которой туф легко поддается механической обработке. Особенно хороши благодаря своим декоративным качествам знаменитые армянские разноцветные туфы. Из них построено множество домов и других сооружений как в самой Армении, так и в других местах нашей страны, в том числе и в Москве. При особенно тонкозернистом сложении арктические туфы Армении служат отличным материалом для скульптурных работ, идут на орнаменты.

Широко используются в различных целях и такие вулканические горные породы, как обсидианы и перлиты. Они образуются при из-

Пласты пемзы на склонах реки Гейзерной

лиянии очень кислых (насыщенных кремнеземом) и вязких расплавов; поэтому не кристаллизуются, а застывают в виде стекла. Из обсидианов и перлитов изготавливают плиты для всевозможной облицовки, оптическое стекло, лабораторную и сортовую посуду, стекловолокно, тонкие нити, из которых ткнут декоративные и огнеупорные ткани, искусственную пемзу, перлитостеклопласт (заменяет дерево) и др. Во многих местах, притом в больших объемах, используются и такие горные породы вулканического происхождения, как базальты, диабазы, андезиты, дациты, порфиры и липариты,— это великолепные строительные материалы.

«Творческая» деятельность вулканов многолика и отнюдь не ограничивается лишь тем, что дарит людям плодородные почвы, чудесные минералы и строительные материалы. Они создали многочисленные месторождения руд. Любопытно, что еще совсем недавно широко была распространена точка зрения о «стерильности» вулканогенных формаций в отношении руд. Однако концепция новой глобальной тектоники представила в несколько ином свете значение вулканизма в рудообразовании, показала прежние доктрины. Примером может служить крупнейшее медное месторождение Казахстана — Кунурдское. Оно расположено в жерле древнего вулкана.

Миллионы и миллионы лет полезные рудные ископаемые откладывались не только в жерлах, но и вокруг дымящих вершин каменных исполинов слой за слоем. Так, вдоль главного Филиппинского разлома прослеживаются цепи неогеновых месторождений медно-порфировых руд с содержанием золота и серебра. На изобилующих вулканами островах Суматре и Яве сформировались золоторудные месторождения миоценового и плиоценового возрастов. На островах архипелага Фиджи образовались свинцово-цинковые и золототеллуровые месторождения. За многие тектономагматические циклы развития Анд сложился протянувшийся на несколько тысяч километров пояс, богатый запасами руд меди, олова, молибдена, вольфрама, золота, серебра, сурьмы и других полезных ископаемых.

В Центральных Андах сформировался знаменитый медный пояс Чили и Южного Перу. На территории Боливии вдоль Восточных

Кордильер протянулся пояс шириной до 100—150 км оловянно-серебряных месторождений, связанных с плиоценовым магматизмом и вулканизмом. Здесь известно 197 месторождений олова, вольфрама, свинца, меди, золота и сурьмы. В течение нескольких металлогенических эпох сформировались мощные рудные пояса в Центральной Америке. Таков уникальный «Великий серебряный канал», протянувшийся через Центральную Америку. Состав руд в нем изменяется с серебряных в Никарагуа и Гватемале на золотосеребряные на юге Мексики, медно-полиметаллические в Центральной Мексике, свинцово-цинковые на ее севере. С этим же поясом связаны ртутные, сурьмяные, флюоритовые, полиметаллические, оловянные месторождения.

Настоящей неиссякаемой кладовой минеральных ресурсов и драгоценных металлов является широко известный итальянский вулкан Этна.

Весьма разнообразна «продукция» камчатских вулканов. На Толбачике, например, учеными обнаружено медно-свинцово-цинковое рудообразование. В кальдере Узона интенсивно растет месторождение мышьяка. Такие исполины, как Авачинский или Ключевская, каждый раз при извержении выносят на поверхность сотни тысяч рудных элементов, нужных народному хозяйству.

Активными металлоносителями являются многие горные реки на Дальнем Востоке. Лет двадцать назад ученые произвели анализ воды одной из речек, впадающих в Охотское море. Проведенные исследования показали, что каждые сутки речка уносит в океан 56 т алю-

миния и 36 т железа! Оказалось, что источники, питающие эту речку, растворяют по пути вулканические газы. На Курилах почти все реки «металлические».

Но из всех положительных сторон вулканизма, из всех богатств, которыми природа наделила вулканы, пожалуй, самое большое, которое трудно сейчас даже в полной мере оценить,— это их геотермальная энергия.

Нередко, когда речь идет о тепловой, геотермальной энергии вулканов, последние образно называют универсальными «чайниками», паровыми «котлами» природы и т. п. И каждое такого рода сравнение, нам думается, правомерно. В действительности, жители вулканических районов, можно сказать, сидят на крышке парового котла и время от времени слышат, как, поднимаясь к поверхности, булькают пузыри, слегка сотрясая крышку. В пузырях — газ, растворенный в воде. Только на самом деле вместо воды — вязкое вещество подземных сфер, вместо топки котла — экзотермические процессы, идущие в толще земли, а пар и газ выделяются из вязкого вещества при изменениях температуры и давления при конвективных и других движениях расплавов.

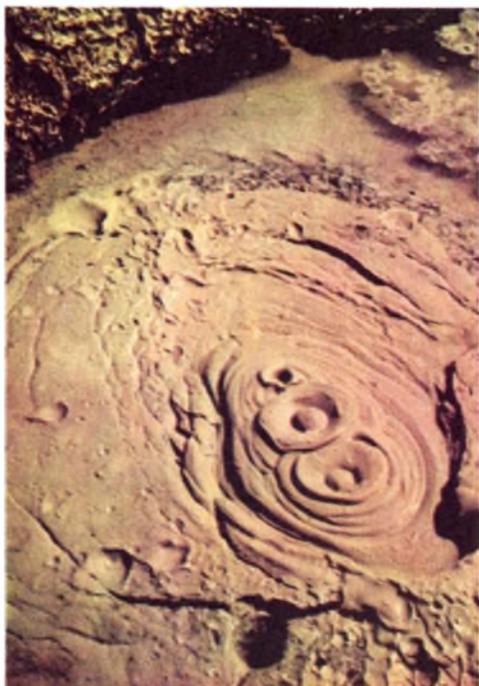
Обычно вулканические вспышки, когда рождаются новые вулканы или же возобновляют свою деятельность старые, возникают внезапно, протекают бурно, а затем на долгое время умолкают. Однако вулканическая деятельность в большинстве случаев не угасает, она лишь обретает иную форму. Продолжение вулканической деятельности находит свое выражение в так называемой фумарольной стадии (когда выделяются парогазо-

вые струи, а вокруг вулканов бьют термальные источники, порой образующие горячие речки). В противоположность вулканическим извержениям, которые часто совершаются мгновенно, эта стадия весьма долговечна и может продолжаться сотни и тысячи лет.

Богаты геотермальными ресурсами Японские и Филиппинские дуги. Геотермальными водами также богат Восточно-Тихоокеанский пояс. В западной части Северной Америки вулканогенные горячие воды связаны с вулканами, прекратившими активную деятельность. В горных местностях западных штатов США известно более 1200 групп горячих источников. Около 100 из них имеют кипящие воды. Их зона протягивается через штаты Калифорния, Невада, Орегон, Айдахо, Вайоминг, Монтана.

Изобилует вулканогенными горячими водами и парами территория Мексики. Они концентрируются в северной части Калифорнийского полуострова и в Поперечной Вулканической Сьерре.

Славится термальными водами (источниками, ключами, гейзерами, паровыми струями), связанными главным образом с ныне действующими вулканами, наша Камчатка. Некоторые из них впервые были описаны знаменитым исследователем Камчатки *Степаном Крашенинниковым* два с половиной столетия назад (1735—1741 годы): Паужетские, Озерновские, Банные, Начикинские и Семячские источники (ключи). О некоторых из них С. П. Крашенинников писал: «Ключи бьют во многих местах, как фонтаны, по большей части с великим шумом и в великих ямах, а из них текут маленькие ручейки...»



Грязевой котел — характерное проявление поствулканической деятельности. В таких котлах образуются тончайшие по своей структуре глины

Значительно позднее термальные источники в разных местах Камчатки отмечались некоторыми участниками морских экспедиций. В настоящее время на Камчатке насчитывается свыше 200 термальных источников, а точнее, районов, где они сосредоточены (иногда в одном месте их не менее 15—20).

Люди уже давно научились весьма эффективно пользоваться термальными водами (или гидротермами) вулканического происхождения для разных хозяйственных целей. Так, например, аборигены маори на острове Северный Новая Зеландии с давних пор используют природные источники

Грязевой котел в Долине гейзеров

горячей воды в зоне Таупо для приготовления пищи. (Не случайно у Жюль Верна можно прочесть фразу: «плох тот вулкан, с помощью которого нельзя сварить картошку или испечь пару яиц».)

Более 50 лет пользуются также горячими источниками жители Исландии. В 1928 году горячую воду провели в Рейкьявик для отопления больницы, школы и плавательного бассейна. Теперь в столице этой приполярной, совсем безлесной страны термальными водами (с температурой от 87 до 138 °С) обогревается около 90 процентов жилых домов, промышленных и административных зданий, учебных заведений, спортивных сооружений. Воздух над Рейкьявиком самый чис-



тый на Земле. Здесь отсутствуют какие-либо выбросы из котелен и дымоходов. В ряде стран воды термальных источников используются в тепличных хозяйствах.

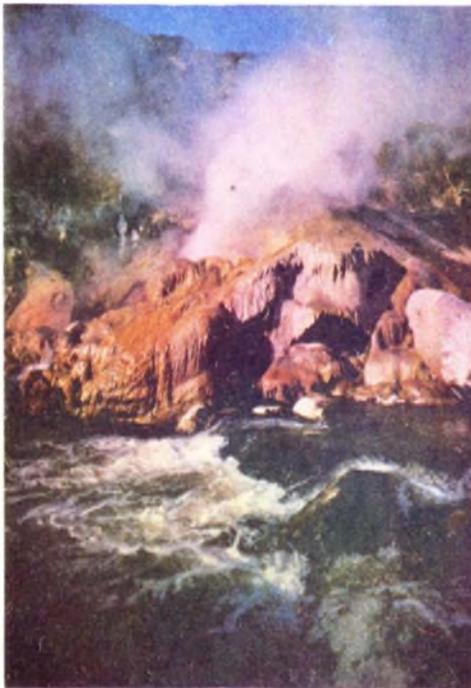
В нашей стране, например, камчатский совхоз «Термальный» вот уже 17 лет подряд летом и зимой получает с закрытого грунта высокие, устойчивые урожаи огурцов, помидоров, лука и снабжает ими города и поселки полуострова. Построена теплица и на знаменитом горячем пляже на острове Кунашир.

В поселке Эссо Быстринского района редко кто из жителей не имеет во дворе теплицу, обогреваемую подземным теплом. Большой тепличный комбинат на базе термальных вод создается в совхозе «Зареченский» Елизовского района.

Кальдера вулкана Узон — кольцевая структура, образовавшаяся в результате грандиозного взрыва

На 12 гектарах теплиц агропром планирует вырастить к 1990 году не одну тысячу тонн ранних овощей. Практика использования геотермальной энергии в ряде овощных хозяйств Камчатки показала: дело это очень выгодное. Так, подземное тепло, получаемое Паратунским тепличным комбинатом, обходится в 10 раз дешевле, чем с городских котелен; одна скважина термальной воды может сэкономить до 1700 т условного топлива, «съедаемого» одним гектаром теплиц.

Практическое значение вулканизма не исчерпывается приведенными примерами. В последние три десятилетия в различных



Долина гейзеров. У выходов источников горячей воды и гейзеров образуются специфические сооружения из кальцита — гейзериты

регионах Земли во все возрастающем количестве извлекаются горячие вулканогенные воды для производства геотермальной электроэнергии.

Обычно геотермальные электростанции возводятся в районах с особыми геологическими условиями, где огромные массы магмы внедрились в земную кору еще миллионы лет назад и сохранили достаточное количество тепла. Эти массы покрыты слоем горных пород, в котором циркулирует вода. Таким образом, под землей находятся резервуары перегретой воды (200—300°С) под высоким давлением. Вода прокладывает себе путь сквозь

горные породы и превращается в пар, который с огромной скоростью (1 тысяча км/ч) вырывается из «бурильной трубы», где улавливается и направляется в турбогенераторы.

На вулканическом паре работают ныне геотермальные электростанции в Японии в районах Хатимантай, Мацугава, Оникаба (остров Хонсю) и Отаке (остров Кюсю), в Вайраки (Новая Зеландия), в Пате (Мексика), в Исландии около вулкана Кафла, в Калифорнии (США) южнее озера Солтон-Си; несколько станций функционирует в районе итальянского вулкана Монте-Амиата (здесь попутно с производством электроэнергии производится добыча из газов и пара серы и буры).

В феврале 1983 года начала работать первая геотермальная электростанция в Индонезии. Она расположена в небольшой деревушке Камоянге на Западной Яве в 200 км от Джакарты. Турбины электростанции вращает находящийся на глубине одного километра горячий пар Галунгунга. Первая очередь станции была рассчитана на мощность до 30 мВт, в ближайшие годы ее планируется довести до 140 мВт.

Интенсивно развивается геотерметика в ряде стран Центральной Америки. Первыми энергию огнедышащих гор в этом регионе начали осваивать сальвадорцы. Построенная в 1975—1980 годах геотермальная станция Аучапан дает 40 процентов электроэнергии, производимой в стране. Геотермальная электростанция мощностью 50 мВт воздвигается на северо-востоке Коста-Рики в горах Гуанакасте на вулкане Миравальес.

В 1983 году начала работать геотермальная электростанция в Никарагуа на одном из склонов

величественного вулкана Момотомбо, находящегося в 60 км от столицы Манагуа. Первая очередь станции обеспечивает электроэнергией основные промышленные предприятия центрального департамента страны. По масштабам использования в экономике энергии вулканов Никарагуа сейчас занимает третье место в Латинской Америке и девятое в мире. Быстрыми темпами ведется строительство второй очереди станции на Момотомбо (количество скважин будет доведено до 21).

Большая работа по развитию геотермальной энергетики ведется на Филиппинах. В ближайшие несколько лет это государство, расположенное в Юго-Восточной Азии, как считают специалисты, станет крупнейшим производителем геотермальной энергии в мире.

Одним из перспективных регионов по производству геотермальной электроэнергии является Дагестан. Ученые Дагестанского отделения Академии наук СССР оценивают ресурсы термальных вод республики в 2,2 млрд. м³ в год. Они позволяют построить несколько ГеоТЭС, обеспечить теплоснабжение столицы Махачкалы, крупного промышленного центра Кизляра, несколько поселков городского типа, многие тепличные хозяйства сельскохозяйственных предприятий.

Еще более богата запасами термальных вод и перегретого пара больших давлений наша Камчатка. Условия для строительства геотермальных электростанций на этом полуострове почти идеальные с теоретической и практической

точек зрения. Достаточно сказать, что только одно Среднемутовское гидротермальное месторождение позволяет возвести на нем ГеоТЭС мощностью 200 тысяч мВт! Лишь одна пробуренная на этом месторождении опытно-эксплуатационная скважина показала, что она может дать столько же пара, сколько восемь скважин, которые питают первую построенную двадцать лет назад в нашей стране в долине реки Паужетки геотермальную электростанцию. А в тридцати километрах от Петропавловска в Авачинском вулкане по расчетам ученых магматический очаг находится всего в 1,5—3 км от поверхности, температура там 1000—1200°C. Построив на этом гигантском резервуаре подземного тепла мощную ГеоТЭС, по расчетам ученых можно обеспечить электроэнергией не только Камчатку, но и половину Дальнего Востока на протяжении десятков и даже сотен лет. Технически этот проект, давно вынашиваемый рядом советских вулканологов, осуществим уже сегодня.

Разрабатываются проекты, принимают попытки непосредственно использовать колоссальную энергию самого извержения вулкана. Что и говорить, заманчиво, конечно, пусть даже не в таком уж близком будущем, как можно лучше напрямую использовать всю мощь стихии. Ведь ее сила измеряется в астрономических цифрах. Вооруженный новейшими достижениями науки и техники человек в конце концов зарегулирует котлы Плутона себе на благо. На это мы вправе надеяться.



Оракулы землетрясений

Но вправе ли мы упрекать нашу Землю в коварстве? Ведь землетрясения, вулканические извержения не минутный каприз природы, а часть мощных планетарных процессов. Глубинные процессы протекают медленно; землетрясения, извержения вулканов, особенно сильные, готовятся долго: годами, тысячелетиями. Длительное накопление колоссального количества тектонической энергии не может

проходить бесследно — не подлежит сомнению, что землетрясения, извержения как-то оповещают человека о своем наступлении множеством различных сигналов. Быть может, мы только небольшую часть их знаем и просто не умеем слушать предупреждения нашей планеты: «Иду на вы?»...

Невольно возникает и другой вопрос: а не может ли быть так, что точные и надежные прогно-

зисты подземных бурь находятся у нас под рукой, а мы их не знаем, не пытаемся найти, изучить и привлечь в помощь?

Оказывается, есть такие прогнозисты. Жители издревле плотно заселенных сейсмически активных областей, вероятно, первыми обратили внимание на беспокойное поведение многих животных перед началом землетрясений и вулканических извержений. То кролики незадолго до первого подземного толчка начинали биться головой о различные предметы, то дыплята внезапно взлетали на деревья, то свиньи начинали кусать друг друга, а то собаки становились крайне нервными: ни с того ни с сего начинали бешено лаять ночью и отчаянно сопротивлялись возвращению на свои места, то коровы в какой-то момент начинали тревожно и долго мычать...

В настоящее время известно около 70 видов животных, зарекомендовавших себя в качестве прогнозистов землетрясений, вулканических катаклизмов, которых мы вправе называть «живыми сейсмографами». В результате специальных поисков нам удалось собрать из разных источников, из современной мировой литературы более 400 сообщений об аномальном¹ поведении млекопитающих, птиц, пресмыкающихся, земноводных, рыб, насекомых и других организмов в преддверии подземных бурь. Часть

этих фактов общеизвестна, многие данные впервые вносятся в научный оборот.

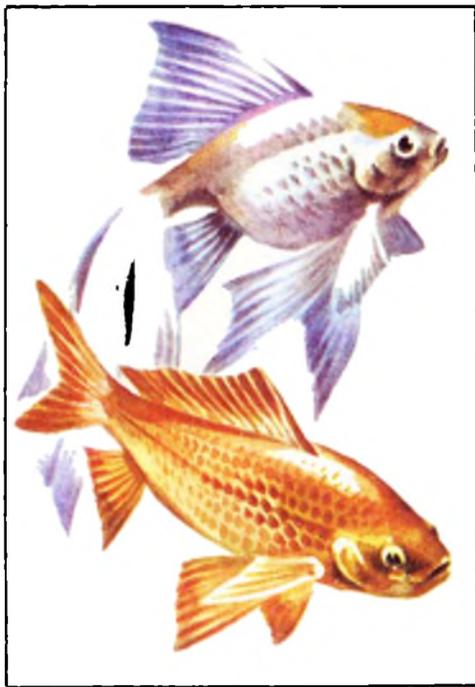
Общий, даже неглубокий анализ всех собранных нами сведений позволяет выделить два основных типа поведенческих реакций животных на приближающееся землетрясение или назревающее извержение вулкана: первый — изменение общей эмоциональной реактивности животного, не сопровождающееся целенаправленным поведением. При этом отмечается возникновение неясной тревоги, беспокойства, выражающегося в повышении двигательной активности, вставании шерсти дыбом, дрожи, вое, мычании и т. д. Как правило, такое диффузное беспокойство возникает или же при землетрясениях со сравнительно небольшой магнитудой, или же в районах, удаленных от эпицентра, или при довольно большом времени перед сейсмическим событием. В экспериментах такое поведение животных обычно отмечается при действии слабых раздражителей, воспринимаемых как признаки опасности. Второй тип поведенческих реакций связан с возникновением целенаправленного поведения. В подавляющем большинстве случаев такое поведение обладает всеми характерными признаками реакций, возникаемых при появлении опасности. Так, у домашних животных отмечается бегство из помещений, дикие

¹ Обычно употребляемые в научно-популярной и специальной литературе словосочетания «аномальное поведение», «необычное поведение» животных перед землетрясениями, извержениями вулканов по существу неверны. В действительности, как это будет показано ниже на многочисленных примерах, это вполне нормальные, типичные реакции живых организмов на надвигающуюся опасность. Выработались эти реакции у животных в процессе длительной эволюции, сопровождавшейся многочисленными катастрофами на Земле. Вообще-то специфическое поведение тех или иных организмов перед землетрясениями, извержениями следует оценивать как биологические предвестники.

животные покидают норы и мигрируют из района будущего землетрясения или извержения вулкана.

Однажды известный армянский художник Мартирос Сарьян (1880—1972) сказал: «Природа, какой бы приятной и будничной она ни была, каждый раз изумляет каким-то новым своим проявлением...» Одним из таких проявлений природы, несомненно, является, пока еще во многом для нас загадочный, феномен — способность животных предчувствовать назревающее землетрясение, вулканическое извержение. О многих таких, наиболее интересных фактах мы поведем далее наш рассказ с указанием вре-

Золотые рыбки весьма чувствительны к повышенным подземной стихии



мени и места сейсмического события, вида животных-прогнозистов и их поведенческих реакций на приближающееся землетрясение и извержение.

Вероятно, самое древнее из дошедших до нас сообщений о необычном поведении животных в преддверии землетрясения содержится в греческих летописях. Оно относится к событию 328 года до нашей эры: за несколько дней до подземной бури, разрушившей город Геликос, ласки, кроты и ехидны, по свидетельству аборигенов, вышли из нор и обратились в бегство.

Вполне возможно, что какую-то связь между беспокойным поведением животных и землетрясениями первыми выявили не греки, а китайцы, чьи жилища не раз разрушали мощные подземные толчки, а зачастую уносили много жизней. Для такого предположения есть немало оснований. Из исторических источников известно, что жители некоторых провинций Китая по целому ряду народных примет, в том числе по аномальному поведению животных, узнавали о приближении подземной бури. Так, например, согласно одной из летописей население провинции Нинся в 1739 году ожидало землетрясения на основе таких признаков: вода в колодцах мутнела, раздавался подземный гром, собаки собирались в стаи и начинали выть. И жители Нинся не ошиблись: собаки-прорицатели не подвели!..

Очень много интересных сведений об аномальном поведении животных в преддверии землетрясений собрано в Японии. Большая их часть относится к рыбам. И это неудивительно. Во-первых, потому, что эпицентры 80 процентов силь-

ных землетрясений в Стране восходящего солнца находятся на дне морей, омывающих ее с востока. Во-вторых, как известно, японцы издревле занимаются рыбным промыслом и им наверное известны повадки и причины изменения поведения обитателей царства Нептуна.

Наибольшей известностью верного рыбьего «сейсмографа» среди японцев пользуется зубатка (из семейства морских рыб отряда окунеобразных). Обычно зубатки обитают в расщелинах скал, на песчаных отмелях. Перед землетрясением зубатки массой быстро всплывают на поверхность воды, невольно обращая на себя внимание неожиданным появлением и четко выраженным беспокойством.

В Японии говорят: если зубатки начинают проявлять активность, следует ожидать подземной бури. Популярность этой рыбы как надежного предвестника землетрясений настолько велика, что ее держат в домашних аквариумах и даже в ваннах и внимательно следят за ее поведением.

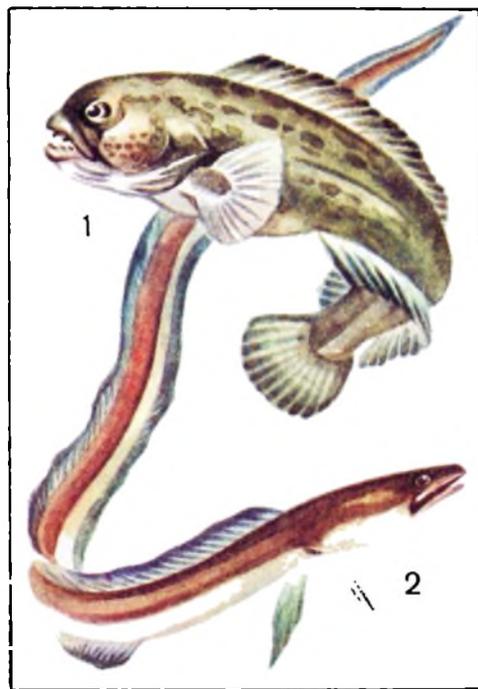
Глубокая убежденность японцев в способности зубаток безошибочно предсказывать подземные грозы побудила ученых провести ряд исследований. Поставленные опыты показали, что эта рыба действительно за несколько часов до подземного толчка начинает проявлять беспокойство, сильно реагирует даже на очень слабое землетрясение, когда находится вблизи эпицентра; однако по мере удаления от эпицентра реакция рыбы заметно утихает, становится слабой, несмотря на достаточно ощутимые толчки.

Хорошими прогнозистами землетрясений являются также отдельные виды глубоководных мор-

ских рыб, которые в обычных условиях никогда не покидают своего места обитания. На сей счет имеется много сообщений. Так, летом 1923 года бельгийский ихтиолог-любитель у самого пляжа в Хаяма, близ японской столицы, обнаружил раздувшуюся на мелководье «усатую треску» — глубоководную рыбу, крайне редко встречающуюся у берегов. Через два дня после этого Токио и Иокогама были разрушены.

В 1932 году накануне крупного землетрясения на северо-востоке Хонсю неожиданно появились у самых берегов большие стаи японского угря, который живет обычно

Зубатка (1) и угорь (2) пользуются у японцев наибольшей известностью верного «рыбьего сейсмографа»



на глубине 500 м. Спустя год один рыбак принес известному японскому ихтиологу, профессору Токийского университета Ясуо Суэхиро пойманного в районе города Одавара (префектура Канагава) угря из породы тех, которые живут на глубине тысячи и более метров от морской поверхности. В тот же день сильный подземный толчок встряхнул тихоокеанское побережье Японии, лишил жизни 3 тысячи человек.

За многие годы кропотливого труда, изучая легенды и исторические записи, опрашивая очевидцев, Ясуо Суэхиро собрал большое число фактов о поведении обитателей морских глубин накануне крупных землетрясений. 127 из них он изложил в книге «Рыбы и землетрясения» и выдвинул гипотезу, согласно которой изменение поведения глубоководных рыб может служить для человека верным предвестником стихийного бедствия.

Любопытная деталь. Несмотря на обилие собранных фактов, профессор Ясуо Суэхиро поначалу не совсем твердо был уверен в высказанной им гипотезе о способности глубоководных рыб «предсказывать» землетрясения. По собственному признанию, он даже наедине с собой, до выхода из печати упомянутой книги, нередко посмеивался над реальностью такой возможности.

А дальше произошло вот что. 11 ноября 1963 года жители острова Ниидзима, расположенного к югу от Токио, поймали «морское чудовище» — неведомую глубоководную рыбу длиной 6 м. Подоспевшие радио- и тележурналисты немедленно связались с Суэхиро и предложили ему отправиться туда на вертолете, чтобы прокомменти-

ровать необычную находку. «Комментарии? — шутя ответил он журналистам.— Ждите землетрясения...»

Оно произошло в районе Ниидзима спустя два дня.

После этого ученый пришел к твердому убеждению, что всестороннее изучение поведения глубоководных рыб накануне землетрясений может оказать большую помощь сейсмологам в решении проблемы прогнозирования одного из самых страшных стихийных бедствий. Исходя из этого, Ясуо Суэхиро в 1964 году обратился в печать к мировой общественности с просьбой сообщать ему о всех наблюдениях над необычным поведением обитателей океанских глубин.

Просьба Ясуо Суэхиро нашла понимание и поддержку у ученых многих стран. В частности, один из крупнейших советских ихтиологов, профессор *Т. С. Расс*, которого попросили прокомментировать призыв Суэхиро, сказал: «...Думаю, что предложение Ясуо Суэхиро нельзя считать неожиданностью... Ученые должны изучать все симптомы, связанные с приближением землетрясения, если можно так сказать, комплексно. Тут важны не только показания самых чувствительных сейсмографов, но и наблюдения за поведением глубоководных рыб и других животных. В этом смысле гипотеза японского ученого заслуживает самого пристального внимания. Тут, по-моему, будут солидарны все ученые и с удовольствием помогут профессору Ясуо Суэхиро своими наблюдениями...»

Имеется довольно много сообщений о том, что отдельные виды рыб и другие обитатели водоемов, каким-то образом чувствуя приближение землетрясения за несколько

дней, недель и даже месяцев до первого толчка, начинают мигрировать. Они уходят от берегов к середине рек или в открытое море, и наоборот, подходят близко к побережью, появляются в самых неожиданных местах, приносят богатые уловы рыбакам, а то и вовсе лишают их какой-либо добычи. Например, в одном местном историческом документе в префектуре Айти рассказывается, что непосредственно перед землетрясением 1891 года в Ноби, магнитуда которого равнялась 7,9, многие рыбы, зарывавшиеся в ил, за 3—4 дня выбросились на сушу, на рисовые поля; в частности, вблизи эпицентра появилось множество гольцов.

В 1896 году за три месяца до землетрясения ($M=7,1$) в провинции Санрику стали в изобилии ловиться угорь и тунец. Рассказывают, что перед известным землетрясением 1923 года в Канто (Токио) за три месяца вырос улов карасей. Перед главным толчком в окрестностях эпицентра вдоль морского побережья префектуры Канагава появилось много сардин. Некоторые из них даже поднимались вверх по рекам. За два дня до землетрясения на берег стало выползать большое количество крабов. Сообщалось также о необычных миграциях рыб в озере Яманака к северу от горы Фудзияма.

Перед землетрясением 1939 года ($M=7,0$) на полуострове Ога (префектура Акита) на берегу Японского моря ловились тунцы весом около 15 кг, которые прежде никогда не подходили к побережью. Сообщалось также, что в ряде мест вблизи эпицентра к берегу подошло множество осьминогов, казавшихся как бы опьяненными. Обычно в

этих местах осьминоги никогда не попадались.

Однако не всегда перед сильными землетрясениями регистрируются крупные скопления тех или иных водных животных, достигаются большие их уловы. Бывает и так, что в преддверии землетрясения из водоемов, наоборот, исчезают их постоянные жители, вероятно, наделенные своеобразными чуткими сейсмодатчиками. Так, в северо-восточной Японии заметили, что перед подземной бурей в 1896 году в Санрику не было поймано ни трески, ни акул. В апреле 1975 года перед подземной бурей в Опте (центральная часть японского острова Хонсю) стаи сомов, обитающих в мелководных реках, спустились вниз по течению и погибли в морской воде.

Предусмотрительная природа не забыла наделить сейсмопрогностическими способностями и птиц, как диких, так и домашних. Известно, например, что почти за сутки до землетрясения, происшедшего на Камчатке 23 августа 1972 года ($M=8,4$), начали проявлять сильное беспокойство все обитающие на этом полуострове дикие птицы, и около полудня они исчезли.

В 1835 году *Чарлз Дарвин*, путешествуя в составе участников экспедиции на корабле «Бигл» у берегов Южной Америки, наблюдал, как морские птицы вопреки обычаю большими стаями летели в глубь материка.

Массовый перелет был отмечен 20 февраля в 10 ч утра, а примерно через полтора часа разразилось сильнейшее чилийское землетрясение. Особенно хорошо чувствуют приближение подземных гроз ласточки. Они, по свидетельству многих очевидцев, оставляют свои



Ласточки, голуби, попугаи и другие птицы наделены сейсмопрогностическими способностями

гнезда, влетают в панике в жилище человека, а чаще далеко улетают и не показываются длительное время.

Под стать ласточкам и воробьи. В преддверии сейсмических событий они собираются в стаи, возбужденно чирикают, залетают в окна домов, а то и вовсе исчезают из селений. Выказывают признаки возбуждения перед землетрясением и вороны. Аномально ведут себя перед сейсмическими событиями и аисты. Взрослые особи возбуждаются, взлетают в воздух, а сидящие в гнездах молодые птицы безуспешно пытаются подняться к родителям.

Весьма чувствительны к позывным подземной стихии голуби. Во многих рассказах людей, переживших землетрясения, они являются главным персонажем среди других птичьих прогнозистов. Так, в одном из японских исторических источников отмечается, что много голубей, обычно гнездившихся на колокольне старинного буддийского храма, оказавшегося вблизи эпицентра нобийского землетрясения 1891 года, улетели вечером, накануне катаклизма, в неизвестном направлении. Почти аналогичная картина наблюдалась ташкентскими голубеводами перед землетрясением 1966 года. В одном месте за 5 мин до первого толчка голуби отчаянно бились на чердаке, стараясь все сразу вылететь через узкое оконце; в другом случае четыре десятка голубей разных пород с шумом покинули голубятню и, полетав в темноте, уселись на крышу. Перед каждым следующим толчком стая взлетала.

Очень интересны наблюдения в отношении голубей жителей алжирского города Шлеф, пострадавшего в 1980 году от сильного землетрясения. До этой катастрофы голуби населяли все районы города, практически жили на каждой улице. Но вот пришла беда, разрушившая город. Но землетрясение не застало голубей врасплох: они загодя покинули места обитания, улетели куда-то далеко. Через месяц птицы возвратились в город.

Отчетливая реакция на приближение подземной бури наблюдается у ряда домашних птиц. Утки выбирают из воды на берег, спят в необычных местах. Гуси возбуждаются, вытянув вперед шею, и, наклонившись к земле, принимают позу атаки: раскрывают крылья,

пытаются взлететь, громко гогочут (как это наблюдалось перед сильным землетрясением 1783 года в Калабрии), отказываются идти в загоны. Так же заметно выражают свое беспокойство и куры. Приблизительно за десять дней до землетрясения 1855 года в Эндо (ныне Токио) куры и петухи вблизи эпицентральной области стали беспокойными и не заходили в курятники. Примерно за час до землетрясения 1896 года в Рикую (Япония) в эпицентральной зоне кукарекали петухи и кудахтали куры.

Боязненно вели себя куры перед землетрясением 27 сентября 1972 года ($M=5,8$) в Кантинге (Китай): отказывались идти в курятники, без устали кудахтали, совершали беспорядочные перелеты, взлетали на деревья. Судя по поведению петухов, их чувствительность к назревающим сейсмическим событиям значительно выше, чем у кур.

Теперь самое время рассказать о сейсмопрогностических способностях сухопутных, наземных животных. Начнем с млекопитающих и прежде всего с наших самых близких и верных друзей — собак, зарекомендовавших себя отменными биопредвестниками подземных бурь.

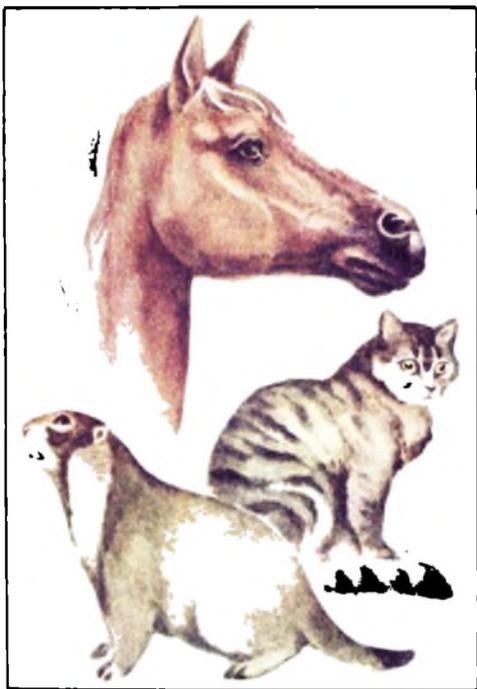
В одном из дошедших до нас сообщений о землетрясении, происшедшем 4 января 1911 года в северных цепях Тянь-Шаня, отмечено, что за три недели до катастрофы ($M=8,2$) собаки на расстоянии 100—110 км от эпицентра «начали проявлять необычное беспокойство». В течение первых трех десятилетий XX века Крым пережил три сейсмических приступа: в 1902—1903, 1907—1908 и особенно яростный и долгий в 1927—

1931 годах. И почти перед каждым из них незадолго перед первым толчком в Ялте и Симферополе на расстоянии 40—75 км от эпицентра, по свидетельству многих очевидцев, «собаки начали жалобно лаять и выть». По многочисленным рассказам сельских и городских жителей сейсмоактивных районов Японии, Италии, Турции, Перу, Чили и других стран многие собаки в разные годы перед афтершоками отказывались от еды, с воем и лаем покидали свои конуры или лежки, хватали щенят, убежали с ними на открытые места либо где-то прятались, а после землетрясения подолгу не возвращались к своим хозяевам.

У некоторых собак чувствительность к назревающим сейсмическим событиям настолько высока, что их можно назвать долгосрочными прогнозистами. Так, в Орвиле (штат Калифорния, США, 1975 год) одна собака начала проявлять беспокойство: стала скулить за полтора месяца до катаклизма, другая собака в Палермо (остров Сицилия, Италия, 1975 год) начала проявлять сильную нервозность за четыре месяца до катастрофы.

А бывает и так, что в преддверии землетрясения на некоторых собак находит апатия: они пребывают в состоянии полного безразличия, равнодушия, снижается их психическая активность, они лежат вялые, в глазах какая-то печаль, мольба о помощи. Другие, наоборот, становятся агрессивными, злыми, мечутся по квартире, громко и свирепо лают, бросаются к дверям, чтобы вырваться наружу, но, спасаясь от гибели, не забывают о своих друзьях — хозяевах.

Немало ашхабадцев и ташкентцев считают, что обязаны своим



Чутко реагируют на приближение подземных гроз многие домашние и дикие животные: кошки, лошади, сурки и другие

спасением пинчерам, овчаркам, шпицам и простым беспородным дворняжкам. «В тот вечер, — рассказывала жительница Ашхабада Любовь Гриц, — я легла спать на террасе. За час до катастрофы мой шпиц начал беспокоиться, кидаться к забору. Собака разбудила меня. Она забилась под кровать, скулила. Потом вылезла из своего укрытия, начала лизать мне лицо. Наконец, схватила меня за одежду и попыталась стащить с кровати. Я подумала, что кто-то ходит возле калитки. Встала и открыла ее. Шпиц бросился на улицу. Но тут же вернулся, чтобы схватить меня за халат и потащить в сторону от дома. Я вы-

шла на тротуар. В это время дрогнула земля...»

Другой ашхабадец — владелец овчарки — в ту роковую ночь тоже был разбужен своим верным другом. За несколько минут до толчка овчарка открыла дверь в комнату и стащила со спавшего человека одеяло. Хозяин не прореагировал. Тогда пес вскочил на кровать, стал выть и кусать своему хозяину ноги, потом бросился к двери. Хозяин — за овчаркой. Через несколько секунд, уже во дворе, он увидел, как разваливается за его спиной дом.

Тогда же в столице Туркмении произошел еще один аналогичный случай, о котором рассказал журналист В. Песков на страницах газеты «Комсомольская правда»: «В поезде сосед по купе достал семейные фотографии. Среди портретов я увидел снимок овчарки. «Почти как человек дорога эта собака, — сказал сосед. — Мы с женой работали в Ашхабаде. В ту ночь поздно вернулись домой. Спать не сразу легли. Я копался в бумагах. Жена читала. Дочка в коляске спала. Вдруг — чего не бывало ни разу — собака рванулась с места и, схватив девочку за рубашку, кинулась в дверь. Сбесилась! Я за ружье. Вскочил с женой. И тут же сзади все рухнуло...»

Чутко реагируют на приближение подземных гроз многие представители кошачьего племени. В преддверии землетрясения эти обычно спокойные, порою на вид даже ленивые, грациозные животные резко преобразуются. Одни, как это было многократно замечено, в состоянии сильного возбуждения становятся неистовыми: беспорядочно мечутся по комнатам, скребут когтями двери, пытаются вы-

рваться из дома; другие, взъерошив шерсть, трусливо дрожат, громко мяукают; третьи, если у них есть котята, как правило, переносят их в другое место, прячутся вместе с чадами по разным закоулкам; четвертые, вероятно наиболее восприимчивые к сигналам назревающего сейсмического события, молча покидают свое местожительство за несколько дней до катаклизма и возвращаются к своим хозяевам только тогда, когда проходят афтершоки.

Аномальное поведение кошек было зафиксировано некоторыми жителями Ашхабада перед землетрясением 5 октября 1948 года.

И еще два любопытных примера. На сей раз о способности кошек прогнозировать вулканические извержения.

Помните знаменитый пароксизм Монтань-Пеле в 1902 году? Так вот, животные расстались со своими хозяевами заблаговременно, не дожидаясь, когда взорвется Монтань-Пеле. Несомненно, что причины, побудившие кошацье племя обратиться в бегство, были весьма и весьма существенными. Только чувство тревоги, непреодолимый страх могли заставить кошек перебороть свою врожденную, очень сильную привязанность к местам обитания и бежать от них без оглядки.

Аналогично поступили кошки, обитавшие в Вестманнаэйре в 1973 году перед извержением Хельгафелдля. Они дружно, за сутки до извержения вулкана, покинули город. «Если вулкан вновь задумает «поговорить», — шутят теперь жители возродившегося из пепла Вестманнаэйра, — нас об этом заранее предупредят наши кошки».

Имеется немало достоверных свидетельств, позволяющих ут-

верждать, что лошади способны «прогнозировать» подземные бури. В преддверии землетрясения они обычно сильно нервничают, не прикасаясь к корму, становятся боязливыми, тело их мелко дрожит, громко ржут, храпят, срываются с привязи, лягаются, встают на дыбы. Находясь в загоне или конюшне, ломают изгороди, заборы, крушат массивные ворота, не жалея сил, стараются вырваться на свободу, а когда все преграды преодолены, убегают. Именно так вели себя животные во время землетрясений в районе озера Байкал (1856 год, $M=5,6$), в Карпатах (1894 год, $M=6,5$), в Крыму (1927 год, $M=6,8$), в Ашхабаде (1948 год, $M=7,3$) и других сейсмоактивных районах Земли. В частности, в дневниках доцента Ташкентского института ирригации и механизации сельского хозяйства *Петра Москальцева* имеется такая запись: «...В конюшнях ашхабадского конезавода за 2 часа до девятибалльного толчка лошади начали бить ногами, громко ржать, потом сорвались с привязи. Но за 15 минут до катастрофы лошади вышибли ворота и разбежались. Конюхи принялись их ловить. В это время содрогнулись недра и конюшня обрушилась...»

По-видимому, не уступают в сейсмопрогностических способностях одомашненные человеком еще раньше, чем лошади, вьючные, верховые и упряжные ослы, широко распространенные по всей тепловой зоне Земли. В преддверии землетрясения они сильнее обычного, неистово кричат, некоторые, как бы теряя равновесие, перед толчками падают на землю. Были случаи, когда ослы своим ярко выраженным аномальным поведением пер-

выми среди домашних животных «предупреждали» местных жителей о надвигающейся беде.

Землетрясения, по наблюдениям сельских жителей, работников молочных ферм, ветеринарных врачей, зоотехников, могут «предсказывать» своим необычным поведением и коровы. Эти обычно спокойные домашние животные перед назревающей подземной грозой сильно возбуждаются, отказываются от корма, начинают очень часто и громко мычать, дают мало молока. Одни выскакивают из хлева, бросаются на землю, катаются по ней, преждевременно телятся; другие бесцельно бегают по пастбищу либо покидают его.

В народном погодоведении давно слыт надежными «живыми барометрами» свиньи, овцы, козы и кролики. Однако, как показывают наблюдения, они могут служить жителям сейсмоопасных районов столь же надежными биопредвестниками землетрясений. Свиньи, например, как и лошади и коровы, при приближении катаклизма ведут себя очень тревожно: отказываются от еды, беспокойно толкаются в загонах, упорно не хотят идти в свинарники, находясь в свинарниках, лезут на стены, пытаются во что бы то ни стало открыть двери, чтобы вырваться наружу. Поросята затевают драки, ожесточенно дерутся боровы. Замечено: симптомы аномального поведения усиливаются за 1—2 часа до землетрясения; но известны, правда единичные, случаи, когда необычное беспокойство свиньи начали проявлять даже за 7—10 дней до катастрофы.

Хорошо заметно также, как чутко реагируют на приближение землетрясения овцы. Как правило, ти-

хие, спокойные, покорные и в какой-то степени даже инертные, эти животные обычно в преддверии подземной бури начинают проявлять беспокойство: перестают слушаться пастухов, боязливо озираются по сторонам, громко блеют, отказываются идти в кошары (овчарни), собираются в группы.

Весьма чувствительны к сигналам назревающих подземных бурь разные виды диких животных. Об этом свидетельствуют имеющиеся в досье биоников многочисленные сообщения натуралистов, служителей зоопарков, охотников, лесников, ученых, работающих в заповедниках сейсмоопасных районов, коим в разное время при различных обстоятельствах довелось наблюдать необычное поведение диких животных в преддверии землетрясений и вулканических извержений.

Олени, например, находящиеся на воле перед подземными толчками, неожиданно ложатся на землю, затем внезапно вскакивают на ноги. Необычно сильное беспокойство этих животных перед землетрясениями не раз наблюдалось в Китае в специальных оленеводческих фермах. Известен случай, когда за две недели до землетрясения ($M=8,5$), происшедшего 27 марта 1964 года на острове Кюдиак (США), большой медведь, почуяв беду, преждевременно проснулся от спячки, покинул свою уютную берлогу и отправился скитаться.

Аналогичную «бдительность» проявили камчатские медведи, обитавшие в районе Безымянного. В марте 1956 года во время извержения этого вулкана не погиб ни один медведь. Все они, как выяснилось, заблаговременно ушли в безопасные места. Важно отметить,

ушли не бодрствовавшие и разгулявшиеся до катастрофы звери, а мирно спавшие в берлогах (в этот период у медведей на Дальнем Востоке спячка еще не кончается). Только очень серьезные причины могли нарушить биологический ритм жизни владык тайги, заставить их проснуться и покинуть опасный для жизни район.

Прогнозировать вулканические извержения могут не только медведи. Почти в самом центре Африки, в заповеднике Киву-парк возле озера Эдуард, находятся постоянно действующие вулканы. Всемирно известный ученый и писатель *Бернгард Гржимек* в своей книге «Они принадлежат всем» рассказывал, что за два-три дня до начала извержения обитающие там дикие животные, в том числе и копытные, откочевывают подальше от опасного района. Как только извержение заканчивается, они возвращаются в привычные места обитания.

Своеобразно реагируют на назревающие сейсмические события различные виды диких животных, находясь в клетках либо вольерах зоопарков. Так, сторож зоологического парка города Скопле (Югославия), подвергшегося в 1963 году жесточайшему землетрясению ($M=6$), свидетельствует, что никогда ранее ему не приходилось слышать такого ужасного «концерта», как в ночь накануне катастрофы, постигшей столицу Македонии.

Первой, примерно за 4—6 часов до катаклизма, начала завывать австралийская собака динго. На ее вой тут же откликнулся сенбернар. К их «дуэту» присоединились голоса десятков других зверей. Громко завывала гиена. Жалобно кричал слон, высоко подымая хобот.

Далее в жуткий «концерт» включились птицы — обитатели парка. В клетках металась тигр, лев и леопард. Испуганный бегемот выскок из воды и совершил рекордный прыжок: перепрыгнул через стену высотой 170 см!

Взволнованные, растерявшиеся сторожа различными способами старались успокоить своих подопечных, но желаемого результата не достигли. Через некоторое время вдруг, как будто по чьей-то властной команде, звери внезапно умолкли, скрылись в глубине своих клеток и, притаившись в темноте, стали чего-то ожидать, вероятно рокового часа. Теперь панический страх охватил обслуживающий персонал. Хотелось бежать... Но было уже поздно: затряслась земля, начал нарастать подземный гул. В 5 ч 26 июля 1963 года произошел первый страшный подземный толчок, за ним второй... и город Скопле превратился в бесформенную грудку развалин, погибло 1070 человек, 2900 было ранено, десятки тысяч остались без крова над головой.

Прошло несколько лет, и опять же в Югославии, но не в Скопле, а в Сараево, обитатели местного зоопарка просигнализировали о близкой беде. Директора зоопарка вызвали на службу среди ночи. Причиной срочного вызова послужило беспокойное поведение львов и медведей: в течение нескольких часов они, не находя себе места, как обезумевшие металась по клеткам. Обеспокоенные столь необычным поведением зверей, служащие зоопарка стали подозревать бешенство. А в 7 ч 21 мин утра в 150 км от Сараево произошло землетрясение, опустошившее обширные районы Черногории. Незадолго до этого, так же как и в 1963 году в

Скопле, утомленные, выбившиеся из сил хищники улеглись на пол в своих клетках, успокоились, а некоторые даже задремали, заснули. О бешенстве либо какой-то другой болезни не могло быть и речи. Просто своевременно «сработали» биосейсмографы, которыми наделила природа медведей, львов и других диких животных.

В 1969 году при бохайском землетрясении в Китае впал в сильную депрессию тигр, содержащийся в местном зоопарке.

Небезынтересные сведения о поведении некоторых диких животных перед землетрясением 6 марта 1972 года были получены также из дрезденского зоопарка. Тогда перед первым легким сотрясением земли слон стал возбужденно бегать в своем помещении взад и вперед, усиленно размахивая хвостом; антилопы пытались перепрыгнуть через высокое ограждение, отделявшее их от посетителей зоопарка. Многие птицы: попугаи, цапли, гуси — стали беспокойно летать и кричать в страшной тревоге.

Чувствительны к предвестникам землетрясений, как это показали наблюдения американских специалистов в 1976—1977 годах, отдельные виды обезьян. Например, за несколько часов до землетрясения небольшой силы впадали в бешенство орангутанги, а некоторые обезьяны начали проявлять беспокойство даже за день до начала подземной бури. По утверждению ученых Стэнфордского университета в Калифорнии, наиболее чувствительны к сейсмическим событиям из всего обезьяньего племени шимпанзе. В серии экспериментов, проведенных недалеко от известного беспокойного разлома

земной коры Сан-Андреас, на Калифорнийском побережье, едва уловимые подземные толчки приводили их в волнение. Животные проявляли сильную нервозность, соскакивали с деревьев и большую часть времени находились на земле, видимо, больше доверяя твердой опоре. Как никогда шумливо, тревожно вели себя обезьяны за несколько часов до землетрясения (М 6,25), происшедшего в 1972 году в Манагуа (Никарагуа).

Много интересных сообщений имеется о незаурядных сейсмопрогностических способностях крыс и мышей. Большая часть этих сообщений получена из ряда японских городов и деревень, вероятно потому, что крысы и мыши без особого труда вторгаются в традиционные деревянные дома жителей Японии и находят там удобные места для обитания.

По свидетельству людей, переживших землетрясение, эти типичные ночные грызуны, обычно осторожные, перед подземной бурей преобразуются, становятся неузнаваемыми, выбирают из своих нор на открытые места, быстро бегают, пищат, иногда бросаются друг на друга, собираются в стаи и, ни на кого не обращая внимания, бродят по населенным местам, появляются в районах, где ранее никогда не бывали, но после самого сильного подземного удара через 2—3 недели, а то и через месяц возвращаются на прежние места своего обитания. Вот несколько тому примеров.

Известный японский геофизик *Т. Рикитакэ* в своей книге «Предсказание землетрясений» рассказывает, что в городе Нагоя (остров Хонсю) в прошлом веке был ресторан под названием «Крысиный

дом». Завсегдатаем он был известен тем, что название полностью соответствовало содержанию дома. Крысы водились в нем в несметном количестве. Даже в присутствии хозяев и гостей они без страха дено и ночью бегали по дому. Однако накануне нобийского землетрясения, происшедшего 28 октября 1891 года в 30—40 км от города, большинство крыс куда-то исчезло¹.

Через 5 лет перед землетрясением ($M=7,5$), обрушившимся 15 апреля 1896 года на Рикюку, по городу в префектуре Акита (Япония) безбоязненно бродили крысы вместе с горностаями.

За несколько дней до катастрофического землетрясения в Канто в 1923 году внезапно исчезли крысы из гостиниц, расположенных в центре японской столицы. Такого рода сообщения поступили из ряда городов и деревень северо-восточной Японии в связи с землетрясением и цунами 1933 года в Санрику. Не раз замечали аномальное поведение крыс перед землетрясениями жители городов и сел Китая. В частности, необычное поведение крыс отмечалось перед синтайским землетрясением 1966 года ($M=6,8$), которое произошло в провинции Хэбэй в 300 км от Пекина.

Судя по приведенным и другим многочисленным сообщениям, крысы способны очень рано, за месяц-полтора, уловить сигналы готовящегося землетрясения с гипоцентра, находящегося на расстоянии 100 и более километров.

Не уступают крысам и, возможно, даже превосходят их в способности прогнозирования землетрясения сурки. Эти животные из се-

мейства белчиных распространены в Европе, Азии и Северной Америке. Имеется немало свидетельств жителей сейсмогенных зон о том, что эти обычно очень осторожные зверьки в одних случаях, примерно за 12 ч до подземной бури, покидали свои норы, в паническом страхе метались по поверхности земли, в других случаях за несколько месяцев перед залеганием в спячку массами мигрировали с места будущего эпицентра землетрясения.

Такую высокую сейсмочувствительность сурков, по-видимому, можно объяснить накопленным жизненным опытом многих поколений этих животных, средой обитания. Большая часть сурков — эндемики гор. Не раз подвергаясь губительному воздействию подземных толчков, они, надо полагать, на каком-то этапе поначалу научились улавливать малейшие сотрясения почвы как признак надвигающегося бедствия. Затем в процессе длительной эволюции их органы чувств обрели способность воспринимать комплекс геофизических явлений, предшествующих землетрясениям. Отсюда высокая надежность биопрогнозов сурков, отчетливо выраженная поведенческая реакция на назревающую подземную бурю.

Чувствительны к предвестникам подземных бурь и соответствующим образом реагируют на них своим аномальным поведением некоторые представители класса пресмыкающихся (рептилий). Так, А. Гумбольдт, путешествуя в прошлом веке в районе реки Ориноко в Южной Америке, лично видел и слышал, как перед землетрясением обычно молчаливые аллига-

¹ Р и к и т а к е Т. Предсказание землетрясений. — М., 1979. — С. 34.

торы с пронзительными звуками покидали воду, выползали на берег реки и оставались там до прекращения толчков. Так же необычно вели себя перед землетрясением водяные черепахи, известные под названием «китайский трионикс». Эти проворные хищники, характеризующиеся довольно слабо развитым панцирем, незадолго до подземной бури начали проявлять сильное беспокойство и выползать из воды. Имеется несколько сообщений, позволяющих предположить, что и ящерицы реагируют на предвестники землетрясений. В частности, этих животных, выползших из зимовочных укрытий на слегка покрытую снегом землю, видели в 1978 году за 20—25 дней до алайского землетрясения.

Из всех современных видов рептилий по сейсмической чувствительности особое место занимают змеи. Их исключительная способность безошибочно предчувствовать приближение различных стихийных бедствий, и прежде всего землетрясения, была высоко оценена еще жителями древней Месопотамии. И сегодня в ряде стран, часто подверженных подземным грозам, в частности в такой, как Мексика, эти животные слывут верными оракулами землетрясений, им покровительствуют и всячески их оберегают. В Японии вера в змей-прогнозистов настолько велика и непоколебима, что любой житель этой страны скажет: «Если змеи выползают из своих нор, то можно ожидать землетрясения». И так действительно не раз бывало — змеи не обманывали. Так, перед ашхабадским катастрофическим землетрясением 5 октября 1948 года змеи и ящерицы ушли из нор.

Имеются сообщения о том, что

змеи выползали из своих нор и появлялись на поверхности земли перед землетрясениями в Италии в 1805 году, в Сантьяго-де-Куба (Куба) в 1853 году и др.

Сопоставляя во всех известных случаях интервалы времени между необычным появлением змей на поверхности земли в преддверии сейсмических событий и первыми ударами подземной стихии, ученые-бионики пришли к выводу, что эти, во многом пока еще загадочные, животные способны предчувствовать приближение землетрясения или вулканического извержения за полтора месяца до катаклизма!

Богат, очень богат хорошими прогнозистами подземных бурь мир беспозвоночных, особенно многочисленный класс насекомых (около миллиона видов!), принадлежащий к типу членистоногих. И в том, что насекомые способны чувствовать приближение землетрясений и вулканических извержений, нет ничего удивительного. Говорят, что если пересчитать ступеньки эволюционной лестницы, то насекомые стоят много выше, чем животные.

Существует мнение, что только жесткий хитиновый покров насекомых, наружный скелет, послужил тормозом в их развитии. Если бы не это препятствие, то они в ходе эволюции достигли бы еще более высокой степени развития. Все действия насекомых как бы запрограммированы в виде наследственно закрепленных инстинктов — врожденных рефлексов. В реализации их огромную роль играет восприятие условий внешней среды, опосредствованное сложной нервной системой и высокоразвитыми органами чувств. Причем это касается буквально всех сторон деятельности насекомых — от пита-

ния и размножения до проявления оборонительных рефлексов. К последним следует отнести и реакцию на изменение различных физических характеристик внешней среды в преддверии подземных бурь. Посылаемые недрами сейсмосигналы-раздражители как бы бомбардируют насекомое, вызывают у него необычные поведенческие реакции, по характеру которых можно узнать о приближении подземной грозы.

Из насекомых-прогнозистов подземных бурь прежде всего достойны быть отмеченными муравьи. Судя по находкам в янтаре, они известны еще 30—40 млн. лет тому назад. Умением предчувствовать назревающие сейсмические события, видимо, они прославились с древних времен. На это указывают дошедшие до нас исторические китайские документы. В них отмечается, что перед землетрясением муравьи покидают свои муравейники. В ряде трудов ученых, занимающихся исследованием поведения крылатых муравьев, описывается массовое появление в воздухе этих насекомых в Японии перед землетрясением в 1891 году и за несколько часов до катастрофы в 1908 году в Неаполе.

И еще два любопытных факта, представляющие интерес. Учительница — жительница Ашхабада, пережившая известное землетрясение, после катастрофы рассказала, что за час-полтора до сотрясения почвы муравьи, захватив куколок, начали покидать свои подземные жилища. Массовые переселения предпринимали муравьи и перед потворными толчками.

О приближении подземной бури могут сигнализировать человеку и саранчовые — подотряд прямокрылых насекомых. Еще в древние

времена было замечено, что эти насекомые совершают массовые перелеты за несколько часов до землетрясения. Видимо, к таким перелетам саранчовых побуждают какие-то определенные сейсмосигналы, предшествующие катаклизму.

Предвестниками землетрясений в ряде стран слывут стрекозовые. Многократно было замечено, что эти самые древние насекомые, как и саранчовые, в преддверии подземной бури собираются в стаи и совершают массовые перелеты. В Японии говорят: «Если вы видите рой стрекоз, то вполне можно ожидать землетрясения».

Несомненно, сейсмопрогностическими способностями обладают и такие наземные членистоногие животные, как многоножки, и такие водные членистоногие, как крабы и креветки. Первые, например, обычно скрытно живущие в почве и под камнями, по имеющимся свидетельствам с глубокой древности, выбираются из своих нор и обращаются в бегство за 5—7 дней до катаклизма, а вот крабы в 1923 году почти за год до землетрясения в Японии исчезли и перестали ловиться. Хотя это и единственный факт, однако он позволяет предположить, что это надсемейство беспозвоночных животных способно к долгосрочному прогнозированию подземных бурь.

Видимо, способностью прогнозировать подземные грозы обладают и такие беспозвоночные животные, как моллюски, большинство которых обитает в морях. На это указывают многие сообщения японских рыбаков и ученых, наблюдавших уход каракатиц (род головоногих моллюсков) в глубины моря за несколько месяцев до случившихся землетрясений.

Итак, из приведенных выше многочисленных примеров неопровержимо явствует: животные могут предвещать своим необычным поведением землетрясения и вулканические извержения. Многочисленными натурными наблюдениями, специальными исследованиями установлено: животные могут упреждать своим аномальным поведением как континентальные землетрясения, так и землетрясения, эпицентр которых находится в море, интенсивностью от 4—5 баллов и выше. Необычное поведение биосейсмопрогнозистов проявляется при глубине очагов землетрясений от нуля (близких к поверхности)

до 150 км и на эпицентральных расстояниях до первых сотен километров. Чем больше магнитуда предстоящего землетрясения и чем ближе расположены животные к эпицентру, тем раньше и тем интенсивнее проявляется их аномальное поведение.

Теперь познакомимся с исследованиями ученых разных стран, цель которых — познать секрет высокой сейсмочувствительности отдельных видов животных, выяснить, какова физика предчувствия живых организмов назревающих сейсмических событий, как устроены, каков принцип работы созданных природой биосейсмографов.



Тайны сейсмopредчувствия

Познать секрет «умения» того или иного вида животных предугадывать наступление подземной бури — дело непростое. Поэтому биологи вместе с биологами, биофизиками, физиологами, этологами, зоопсихологами и представителями ряда других областей знания тщательно исследуют даже самые, казалось бы, незначительные факты необычного поведения млекопитающих, птиц, пресмыкающихся, зем-

новодных, рыб и насекомых перед землетрясениями и вулканическими извержениями, стараются определить закономерности, найти тончайшие нити, связывающие глубинные подземные процессы с их признаками, которые воспринимаются и фиксируются различными видами животных. Ведутся натурные наблюдения в самых различных сейсмических районах, ставятся эксперименты.

В качестве возможных причин предвестниковых явлений, могущих вызывать аномальное поведение животных перед подземной бурей, рассматриваются (по рекомендации участников упоминавшейся выше Калифорнийской конференции 1976 года): вариации электромагнитных полей, ультразвук и инфразвук, микросейсмическая активность земной коры, выделение газов из почвы, электростатический заряд аэрозольных частиц воздуха, колебания уровня грунтовых вод, изменения давления воздуха, аномалии гравитационного поля, всевозможные проявления деформации земной поверхности (поднятия, опускания и наклоны).

Из всех перечисленных предвестниковых явлений, которые предположительно могут быть причиной необычного поведения животных перед подземными бурями, многие ученые первостепенное внимание уделяют изучению воздействия на живые организмы электрических и магнитных полей¹.

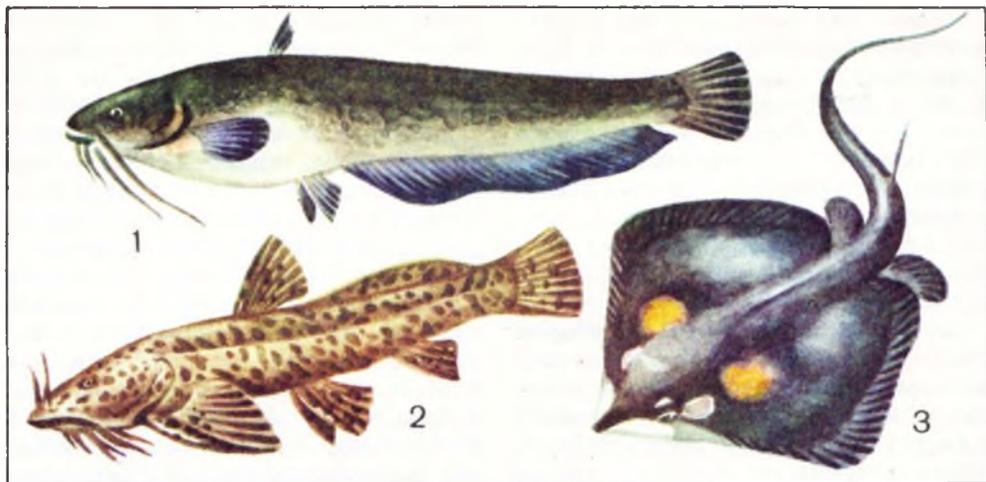
Еще в начале 30-х годов группа японских ученых, исследовав поведение зубаток, особенно чувствительных к электрическим токам, обнаружила явную корреляцию между V-образными изменениями записей земных токов, активностью зубаток и землетрясениями. Примечательно, что активность зубаток оказалась пропорциональной расстоянию между станцией наблюдения и эпицентрами землетрясений. Другая группа японских ученых в 1933 году открыла четкую реакцию рыбы мор-

ской кот к электричеству и вибрациям. Наблюдая далее за поведением этой рыбы в аквариуме, ученые обнаружили, что, когда она начинала делать своеобразные движения, через несколько часов происходили подземные толчки. Более того, специально проведенные эксперименты и наблюдения показали, что морской кот реагирует на звуки и перед землетрясением проявляет отчетливые признаки беспокойства, за 6—8 часов до того, как сейсмографы начинают регистрировать подземные толчки.

Выводы ученых, проводивших опыты над морским котом, были многократно повторены другими исследователями, и все выявленные прогностические способности рыбы подтвердились. В 1976 году профессор Ясуо Суэхиро даже опубликовал книгу, полностью посвященную этой рыбе, не скупясь на похвалу ее сейсмопрогностических способностей. Он убедительно показал, что морской кот обладает высокой тактильной чувствительностью, острым слухом, обонянием и зрением. Ученый собрал и описал в своей книге 80 случаев необычного поведения этой рыбы перед землетрясениями, происшедшими с 1662 по 1979 год.

По одной из гипотез органом чувств рыб, воспринимающим электрические сигналы, является боковая линия. У большинства костистых рыб орган боковой линии представлен системой подкожных каналов на голове и двумя идущими вдоль туловища симметричными каналами, в полости которых расположено множество чувстви-

¹ Анализ современных моделей механизмов возникновения землетрясений показывает, что им могут предшествовать слабые электрические и магнитные поля низкочастотного и инфранизкочастотного диапазона.



тельных органов. Кроме того, тело и голова рыб в той или иной степени покрыты свободнолежащими чувствующими органами. Полости каналов заполнены слизистым содержимым и обычно сообщаются с наружной средой через поры или каналы. Только у немногих рыб эти поры закрыты мембранами.

Характерной чертой строения невромаста являются бутылкообразные чувствующие клетки, погруженные в самый поверхностный слой кожи. Из каждой клетки наружу выходит чувствительный сенсорный волосок. Несколько сенсорных волосков обыкновенно заключено в массивную капсулу, заполненную студенистым веществом. Капсула является основным органом, воспринимающим механическое раздражение. У видов, ведущих малоподвижный образ жизни, невромасты разбросаны по всему телу в виде обособленных образований. Подвижные рыбы имеют невромасты, расположенные в виде линий на голове или туловище. В результате образуется довольно

Наблюдения, проводимые за поведением отдельных рыб, показали, что они чувствительны к изменениям электрического поля: амурский сом (1), туркестанский сомик (2), морской кот (3)

сложная чувствующая система, слагающаяся из чувствующих капсул, которые расположены на поверхности кожи и в ее глубине. Сенсорные окончания, располагающиеся в глубине кожи, сообщаются с поверхностью через открытые поры.

Особенности строения невромаста послужили основой морфологической структуры для более сложных элементов, именно: слуховой капсулы с отолитами у рыб и кортиева органа у млекопитающих. Общим в строении отмеченных органов являются желеобразная капсула и чувствующие клетки с сенсорными волосками. К системе органов чувств рыбы, воспринимающих электрические токи, относятся специальные электрорецепторы, расположенные, например, у скатов на голове, — ампулы Лоренци. С помощью этих

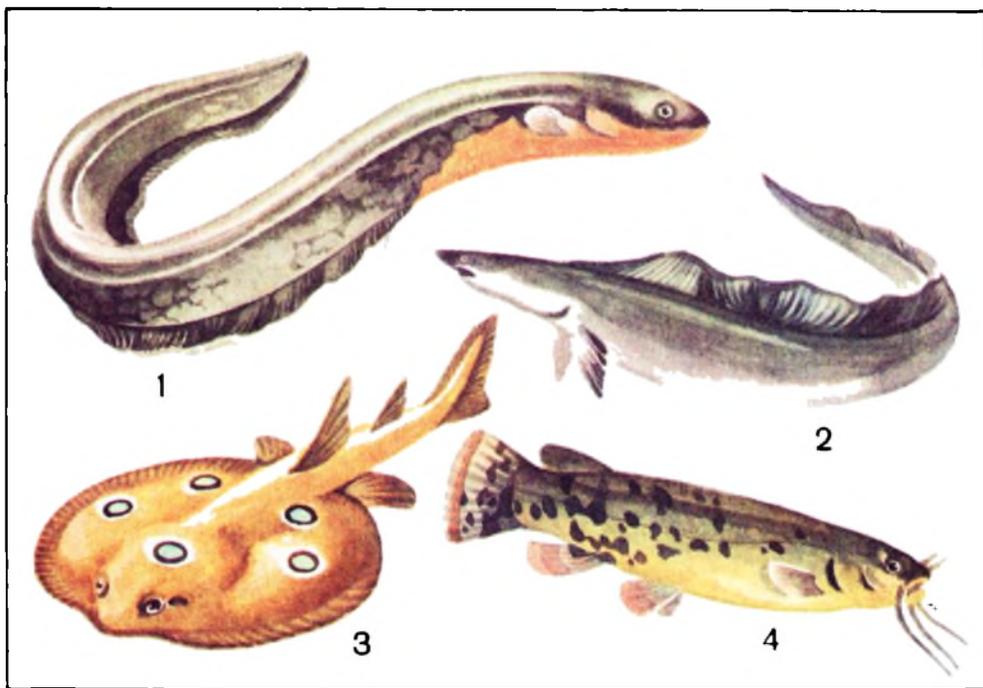
органов, как показали исследования советских ученых, скаты чувствуют приближение тайфунов, которые порой отдалены на сотни километров и при своем перемещении становятся возмутителями спокойствия в электромагнитном поле Земли.

В Японии говорят: «Сомик трясет землю». Проверкой сейсмопрогностических способностей сомиков занялись японские ученые Хатан и Абе. Ученые размещали подопытных сомиков в заземленный аквариум и каждые 6 ч подставку аквариума слегка встряхивали. Обычно рыбы не реагировали на

такие толчки, однако за несколько часов до землетрясения поведение сомиков менялось, те же легкие толчки вызывали у них бурную реакцию. Как же рыбы узнавали о предстоящем землетрясении? «Это объясняется, — пишет Л. Жерарден в своей книге «Бионика», — отнюдь не сверхъестественными способностями рыб. Известно, что в земной оболочке циркулируют так называемые «теллурические токи» и накануне землетрясений в них наблюдаются возмущения. А эти рыбки, как и многие другие виды рыб, имеют органы, чувствительные к очень слабым электрическим колебаниям...»

А наделила ли природа сейсмочувствительностью сомиков, обитающих в водоемах нашей страны, решили проверить сотрудники Мурманско-

Рыбы, имеющие электрические органы: электрический угорь (1), гимнарх (2), электрический скат (3), африканский электрический сом (4)



го морского биологического института (ММБИ). В верховьях порожистых и холодных рек предгорья Памира поймали туркестанских сомиков. Отловленных рыб поместили в специальные аквариумы и на автомашине повезли в лабораторию, чтобы начать наблюдения. И уже в дороге заметили любопытные поведенческие реакции сомиков. Едва только рыбы оказывались вблизи высоковольтной линии, как тут же начинали проявлять заметное беспокойство. А однажды они забеспокоились и тогда, когда высоковольтной линии поблизости не было.

Через 4 ч сейсмологи зарегистрировали землетрясение.

Экспериментируя со многими видами рыб, ученые установили, что характер кривой спектральной чувствительности этих животных не меняется под действием шума — электрических помех. Высокая степень развития спектральной чувствительности подтверждается, например, способностью нильской щуки выделить полезные сигналы на фоне весьма сильного шума в том же диапазоне частот. При экспериментах, проведенных доктором биологических наук *В. Р. Протасовым*, нильская щука быстро адаптировалась к условиям электрических помех и была способна с неизменной уверенностью электролоцировать находящиеся в воде объекты и реагировать на внешние электромагнитные поля фиксированных частот.

По заключению ряда исследователей анализаторами воспринимаемых электрических сигналов у рыб являются мозжечок и продолговатый мозг, представляющие собой высшие центральные отделы органов боковой линии.

В последние годы интенсивно развивается новое научное направление — магнитобиология, изучающая воздействие колебания напряженности магнитного поля Земли на различные организмы. Это направление возникло независимо от сейсмологии, но нашло много точек соприкосновения с бионикой, и в частности с сейсмобионикой, так как магнитные поля Земли, их изменения оказывают (это доказано многочисленными наблюдениями и сложными биологическими экспериментами) существенное влияние на развитие практически всех живых существ на нашей планете и могут иметь, как полагают ученые, сейсмопрогностическое значение.

К сожалению, до настоящего времени окончательно не выяснено, каков механизм магнитного влияния на живые организмы. Пока ни у одного животного не обнаружено специальных магнитных рецепторов. Многие исследователи считают, что рецепция магнитного поля осуществляется либо непосредственно нервными клетками, либо электрическими рецепторами, например у рыб, у которых обнаружены «электроприемники» (согласно одной из гипотез для многих видов рыб магнитное поле Земли является ориентирующим фактором при миграциях). Вообще же подавляющее большинство исследователей полагают, что рецепция магнитного поля происходит на клеточном или молекулярном уровне.

В последнее время появляются сообщения, что с помощью магнитометров обнаруживаются магнитные материалы: например, магнитные кристаллы в тканях головы почтовых голубей, брюшине

пчел. Вполне возможно, что флуктуации привычного магнитного фона предупреждают летающих живых сейсмографов о приближающейся беде, действуя на «встроенные» в их организм магнитные датчики (ничтожно малые колебания магнитных полей и характерные поведенческие реакции отдельных видов птиц и насекомых были зафиксированы одновременно перед землетрясениями, происшедшими в разные годы в Японии, Китае, Турции и других странах).

Многие реакции на магнитное поле оказываются сходными и для микроорганизмов, и для более высокоорганизованных живых существ. Проведенные опыты подготовили почву для попытки ответить на чрезвычайно важные вопросы: на какой параметр магнитного поля реагируют живые существа, каковы пороги их чувствительности и как проявляется эта реакция?

Опыты с млекопитающими показали, что наиболее сильным биологическим эффектом обладают переменные магнитные и электромагнитные поля с частотами, близкими к биоритмам мозга (2—10 Гц) или же в диапазоне геомагнитных пульсаций (0,01—20 Гц). Так, при действии на кроликов электромагнитного поля напряженностью 0,4 В/м и частотой 2—8 Гц отмечены понижение частоты сердечных сокращений, изменение содержания ферментных элементов крови. Стимуляция кроликов магнитными полями с частотой 8 Гц приводит к снижению активности ферментов. В опытах на белых крысах было установлено, что воздействие магнитных полей ($H \leq 1$ Э), имитировавших магнитные пульсации, приводит к нарушениям в ра-

боте нейроэндокринной системы, изменяет функциональное состояние нейронов коры больших полушарий головного мозга.

Доктор *Эверден*, геофизик из американского центра по изучению землетрясений, считает, что определенные виды акул также чувствительны к незначительным колебаниям интенсивности магнитного поля Земли, могут ощущать его изменение перед подземными толчками. Эта гипотеза поддерживается учеными ряда стран, в том числе советскими биониками. Так, например, на подмосковной биостанции Института эволюционной морфологии животных имени Н. Н. Северцова АН СССР в течение многих лет доктором биологических наук *Н. Н. Диспером* велись исследования органов чувств акулорыб. В результате этих исследований ученый сумел найти и объяснить взаимозависимость между электромагнитным излучением и поведением акул.

В последние годы большую популярность приобрела так называемая «аэрозольная гипотеза» итальянского биофизика *Хельмута Трибугша*, утверждающая, что о грядущем землетрясении человеку и животным земная твердь сообщает посылкой мощного потока ионов, до предела насыщающих воздух статическим электричеством.

Однако, отдавая должное «аэрозольной гипотезе», ученые-бионики вместе с тем считают, что резкое усиление напряженности электростатического поля, увеличение числа ионов в воздухе не могут рассматриваться в качестве единственной или же наиболее вероятной причины аномального поведения животных перед землетрясениями. Несомненно, регистрируемые пове-

денческие проявления многих биосистем в преддверии подземных бурь вызываются и другими физическими факторами. Не исключено, например, что некоторые, а возможно и многие организмы, обитающие на земле, под землей и в воде, способны ощущать изменение электропроводности в горных породах и в верхних слоях грунта.

Общеизвестны традиционные методы расчета инженерных сооружений: сначала вычисляются максимальные нагрузки, которые будет испытывать конструкция, а затем вводится дополнительный запас прочности. Эти методы очень трудоемки, обходятся довольно дорого. А вот термиты — прожорливые точильщики дерева превзошли инженеров в решении этой задачи. Эти хитроумные существа, оказывается, способны каким-то еще не изученным способом определять на расстоянии механическое напряжение в том или ином материале и предчувствовать грядущее землетрясение. Можно предположить, что любое воздействие на межатомные и межмолекулярные силы сцепления в материале создает вокруг напряженной структуры особое поле. Условно его можно назвать «полем напряжения». Пусть пока это гипотеза, но подобное понятие можно ввести. Как иначе можно объяснить действие термитов, которые могут съесть целый деревянный дом, но так съесть, что тонкая его оболочка останется стоять? Термиты выедают древесину в такой последовательности, при которой конструкция не рухнет! Значит, у них есть «датчики», которые позволяют определять, где есть напряжение в древесине (как правило, это несущие конструкции) и где те части, которые можно выесть. Те-

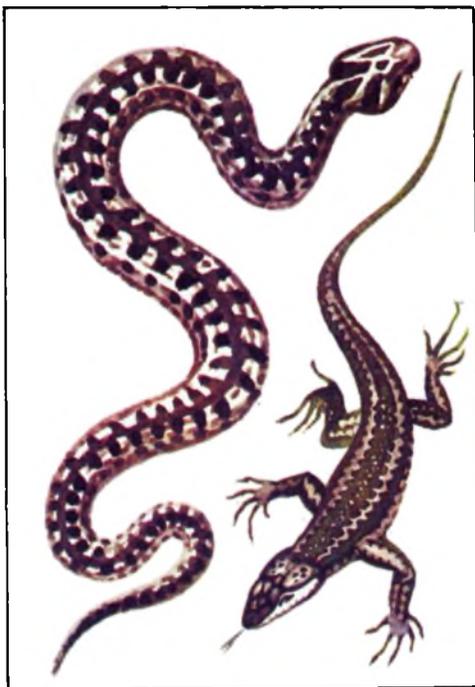
перь можно понять, каким грандиозным им кажется напряжение земной коры перед землетрясением, если в «своих домах» они чувствуют напряжение в отдельных древесных волокнах.

Не исключено, как считают биологи, что и другие животные способны воспринимать «поле напряжения», и если это так, то «диагностировать» приближение подземных бурь для них не представляет труда.

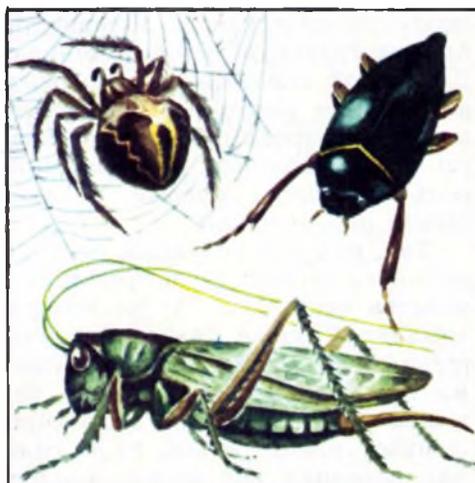
Из известных геофизических предвестников, которые могут сигнализировать животным о приближении землетрясения, некоторые ученые называют флуктуации уровня грунтовых вод. И действительно, при повышении уровня подземных вод (что случается в преддверии подземных бурь) создается угроза для животных, живущих в норах (ящериц, крыс, мышей), и прежде всего для беспозвоночных, обитающих в почве. Волей-неволей приходится покидать заливаемое водой обжитое жилище.

Предполагается, что некоторые животные способны улавливать незначительные сотрясения Земли, микросейсмическую активность, предшествующую землетрясениям. Для такой гипотезы немало оснований дают некоторые насекомые, которых природа наделила органами, позволяющими им воспринимать ничтожно слабые механические перемещения.

Так, недавно бионикам стал известен маленький кузнечик из семейства теттигония, чутко воспринимающий даже самые незначительные движения почвы... «ушами». А находятся они у него, как выяснилось... на ногах! Если хорошенько присмотреться, то на голеньях передних ног можно увидеть



Приближение землетрясения влияет на изменение уровня грунтовых вод, что создает угрозу животным, обитающим в норах и расщелинах. Это способны улавливать такие пресмыкающиеся, как ящерицы и змеи



по две узкие продольные щелочки. Они ведут к полости. В них, словно барабанная перепонка, натянуты тонкие мембраны. Внутри орган слуха устроен сложно: чувствительные клетки, нервные окончания, мышцы, дыхательные трубки. Миниатюрный живой сейсмограф — кузнечик способен, как показали исследования, реагировать на колебания почвы, амплитуда которых равна половине диаметра атома водорода! Это значит, что если, скажем, произойдет землетрясение где-нибудь на островах Тихого океана интенсивностью 5—6 баллов, то колебания почвы, вызванные этим в Москве, будут зафиксированы кузнечиком.

Незаурядной чувствительностью к малейшим вибрациям обладают и пауки. Они используют паутину для того, чтобы с помощью ее колебаний обнаруживать попавшую в сеть добычу. Паутина выполняет две важные функции: она удерживает добычу до тех пор, пока паук ее не схватит; кроме того, и это, пожалуй, главная ее функция, она служит своеобразным удлинителем тела паука, стимулирующим сенсорные органы вибрации, которые расположены у основания каждой ноги. Примечательно, что пауки нападают не на всякий источник вибрации; их интересуют только вибрации определенного диапазона частот. Такой избирательности пауков нельзя не позавидовать.

Очень чувствительны к слабым механическим колебаниям, самым малым перемещениям жуки-вер-

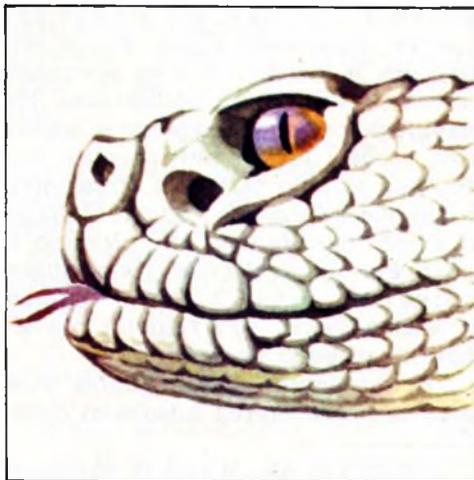
Незаурядной чувствительностью к малейшим вибрациям обладают пауки, жуки-вертячки и кузнечики

тячки, обитающие в огромных количествах на поверхности воды в наших реках и озерах. Они стремительно носятся туда и сюда, но при этом никогда не сталкиваются друг с другом. Антенны каждого вертячка слегка касаются поверхности воды, и распространяющиеся по воде колебания стимулируют механорецепторы, расположенные у основания этих антенн. Сравнивая силу раздражения каждой антенны, вертячок может воспринимать движения своих собратьев, барахтавшихся в воду других насекомых, которыми питаются вертячки.

Минимальные колебания почвы до начала землетрясения, остающиеся незаметными даже для самых чувствительных сейсмографов, способны чутко улавливать змеи. Они, как полагают бионики, улавливают вибрации, незначительные колебания почвенных слоев всем телом.

Есть у гремучих змей еще один оригинальный «прибор», играющий важную роль в их жизнедеятельности, и в частности, вероятно, в прогнозировании извержений вулканов. Речь идет о специальном органе, представляющем собой два конических углубления, расположенных по обе стороны головы животного (между глазами и ноздрями), который чувствует изменение температуры в окружающей среде на $0,001^{\circ}\text{C}$. Лицевые ямки гремучих змей не связаны ни с глазами, ни с каким-либо другим соседним органом. Каждая ямка на некоторой глу-

бине от входного отверстия разделена поперечной мембраной, перегородившей ее на две камеры — наружную и внутреннюю. Наружная лежит впереди и открывается широким воронкообразным отверстием на коже. Внутренняя камера, лежащая позади наружной, сообщается с внешней средой узким каналом. Перегородка, разделяющая обе камеры, имеет толщину всего $0,025$ мм. Густые переплетения нервных окончаний пронизывают ее во всех направлениях. Ученые установили, что лицевые ямки представляют собой не что иное, как термолокаторы, действующие по принципу своеобразного термоэлемента. Тончайшая мембрана, разделяющая две камеры лицевой ямки, подвергается с двух сторон воздействию разных температур. Внутренняя камера сообщается с внешней средой каналом, поэтому в ней сохраняется температура окружающего воздуха. Наружная камера широким отверстием-теплоуловителем направлена в сторону исследуемого объекта. Тепловое излучение, которое он



Лицевые ямки на голове гремучей змеи — термолокаторы, фиксирующие тепловое излучение

испускает, нагревает переднюю стенку мембраны.

По разности температур на внутренней и наружной поверхности мембраны, одновременно воспринимаемых нервами, у змеи возникает ощущение излучающего тепловую энергию предмета. Благодаря высокочувствительному термолектатору обладающие слабым зрением змеи хорошо видят в темноте, легко обнаруживают по тепловому излучению добычу — мелких животных, чутко улавливают повышение температуры почвы в окрестностях вулкана, воспринимая его как признак возможного извержения.

И еще один любопытный факт. В 1907 году в городе Лайбахе у капитана артиллерии *Д. Вейта*, большого любителя животных, было три гадюки. Впав в зимнюю спячку, они преспокойно спали до февраля. Но между 8 и 12 февраля вдруг проснулись, начали выползать из своих укрытий и вели себя очень беспокойно. Вейт, которому не раз доводилось наблюдать необычное поведение гадюк перед землетрясениями, и на сей раз было подумал, что вот-вот нагрянет подземная буря. Но, к его радости и к радости всех местных жителей, ничего не произошло. Не наблюдалось в это время и никаких особых изменений погоды, которыми можно было бы объяснить странное поведение гадюк. Однако позднее выяснилось, что именно в это время происходила сильнейшая магнитная буря, и Вейт пришел к заключению, что гадюки реагировали именно на нее.

В настоящее время рядом ученых высказывается довольно обос-

нованное предположение, что змеи способны также тонко реагировать на изменение электрического поля в преддверии землетрясений и вулканических извержений.

В жизни многих животных огромную роль играет обоняние. Для некоторых видов оно имеет такое же значение, а иногда и большее, чем зрение и слух. Никто сейчас не может точно сказать, когда именно первые живые организмы на нашей планете обрели органы, позволяющие им определять присутствие ничтожно малых количеств, чуть ли не отдельные молекулы химических веществ. «Чувство обоняния, — утверждают известные американские ученые *Л. Дж. Милн* и *М. Милн*, —...предшествовало всем другим чувствам, с помощью которых животное могло на расстоянии ощущать присутствие пищи, особой противоположного пола или приближение опасности»¹. Аналогичного мнения придерживается один из крупнейших английских исследователей проблемы обоняния и запахов — *Р. Х. Райт*. В своей книге «Наука о запахах» он пишет: «Если функция мозга заключается в регуляции жизнедеятельности организма на основе полученной информации, то очень похоже, что интеллект зародился как аппарат для обработки обонятельных сигналов от химических веществ, окружавших наших предков в первобытном океане».

Некоторые ученые предполагают, что радон, так же как гелий, аргон и другие газы, просачивающиеся перед землетрясениями из глубоких горизонтов земли на ее поверхность, хорошо улавливаются и анализируются живот-

¹ Милн Л. Дж., Милн М. Чувства животных и человека. — М., 1966. — С. 135.

ными с высоко развитым обонянием и являются одной из причин их необычного поведения. Так, например, известный японский геофизик *Тарада* пишет: «...землетрясения могут воздействовать на подземные воды, оказывая тем самым влияние на химический состав прибрежной морской воды, и в результате косвенно влиять на планктон и рыбу». Аналогичную гипотезу не так давно высказал видный английский астрофизик доктор *Томас Голд*. Опираясь на выявленную многолетними наблюдениями связь между заметным повышением содержания серы и хлора в газах фумарол¹ и возрастанием активности вулканов, он пришел к заключению, что проявляемые животными страх и беспокойство перед извержениями вулканов можно объяснить высокой чувствительностью их обоняния, позволяющего улавливать характерные запахи вулканических газов.

По-видимому, как полагают бионики, немаловажную роль в сейсмопрогностической способности некоторых животных играют звуки, предшествующие и сопутствующие землетрясениям, звуки в ультра- и инфранизких диапазонах, не воспринимаемые органами слуха человека². Волны разных частот несут неодинаковую энергию и в разной степени затухают в толще горных пород. Чем выше энергия подземных бурь, тем больший процент ее приходится на волны высоких — ультра- и гиперзвуковых — частот. Гиперзвуковые колебания быстро по-



Высокоразвитым обонянием обладают пчелы и муравьи, что позволяет им улавливать газы, просачивающиеся из глубоких горизонтов на поверхность перед землетрясением. В связи с этим ученые наблюдают их беспокойное поведение перед стихией

глощаются и почти не достигают поверхности. А ультразвук проявляет себя и под и над землей. Самое главное: сейсмический очаг генерирует их постоянно задолго до разрушительного удара (ультразвук, кстати, вызывает помутнение водоемов, изменяет химический состав воды подземных источников).

Высокой чувствительностью к ультразвукам природа наделила дельфинов, летучих мышей, некоторых насекомых. Так, например, у кузнечиков обнаружена чувствительность к частотам до 45 тысяч Гц, а ночные бабочки реаги-

¹ Фумаролы — выходы горячего вулканического газа и пара из трещин на стенках или каналов на поверхности вулкана.

² Диапазон звуков, воспринимаемых органами слуха человека, колеблется от 16 до 20 тысяч Гц. Звуки более низкой частоты, чем 16 тысяч Гц, — инфразвуки, выше 20 тысяч Гц — ультразвуки.



Одни из предвестников подземных стихий. Ночные бабочки реагируют на звуки высокой частоты (ультразвуки). Медузы способны улавливать звуки низких частот (инфразвуки)

руют на звуки частотой до 150 тысяч Гц. Высокий порог слышимости (до 100 тысяч колебаний в секунду) у кошек, собак, хомяков, крыс, ящериц. Это, как полагают ученые, позволяет им слышать голос недр, чутко реагировать на ультразвук, доводящий горную породу до разрыва. И они не просто реагируют на «голос недр», а панически бегут от него.

Многие животные слышат звуки низких частот. Примером могут служить медузы.

Хорошо слышат звуки низких частот и некоторые млекопитающие, например свиньи. Это удалось

установить, применяя метод условных рефлексов. Если во время кормления животного подавать низкочастотные сигналы, то оно постепенно привыкает к совпадению и начинает реагировать на сигналы так же, как и на корм.

Накопилось немало данных, позволяющих утверждать, что не только животные, но и человек способен улавливать некоторые сигналы, посылаемые пробуждающейся земной твердью. В частности, можно считать доказанным, что человеческий организм воспринимает предшествующие землетрясениям и вулканическим извержениям интенсивные инфразвуки, вызывающие чувство тревоги, панического страха.

В 1920 году известный американский физик-экспериментатор *Р. Вуд* (1868—1955) проделал такой эксперимент. Он установил в театре толстую трубу. Когда эта труба заработала, звука никто из сидящих в зале не услышал, но все почувствовали неясную тревогу. «Словно вот-вот разразится землетрясение!» — так описывали это состояние участники эксперимента. От инфразвука в окнах театра задрожали стекла, зазвенели подвески на канделябрах; ужас овладел не только теми, кто находился в театре, но и людьми, находившимися вдали от него.

Тридцать семь лет спустя, в 1900 году, советский ученый *Я. Бирфельд* произвел анализ кардиограмм жителей Ташкента, полученных в период подземных толчков и после того, как они закончились. Выяснилось, что за несколько часов до катастрофического землетрясения у людей происходили сдвиги автоколебаний сердца и дыхания. Это особенно чув-

ствовали люди с больным сердцем.

Во время ташкентского землетрясения выявилось также, что к инфразвукам повышенной интенсивности, идущим от внутренних слоев земной коры, особенно чувствительны люди, обладающие развитым ощущением ритма. Прежде всего музыканты и танцовщики. Эту особенность человеческого организма чутко реагировать на физические аномалии, связанные с приближением землетрясения, интересно обыграл В. Орлов в своем полужанровом романе «Альтист Данилов»:

«...Данилов почувствовал себя скверно. Его тошнило. Кружилась голова. Билось сердце... И неприятнее всего было ощущение беспокойства, тоски или даже безысходности... Минут десять. Потом прошло... Наутро Данилов развернул в троллейбусе газету и... увидел заметку: в Турции был зафиксирован подземный толчок силою в семь-восемь баллов... Именно в те минуты и было Данилову плохо. В те десять минут».

Интересные исследования, направленные на выяснение сейсмопрогностических способностей людей, провели болгарские ученые. На основании наблюдений, ряда лабораторных экспериментов исследователи пришли к выводу, что наиболее чувствительными к инфразвукам повышенной интенсивности, идущим от внутренних слоев земной коры, являющиеся люди, страдающие заболеваниями сердечно-сосудистой системы. У этих больных накануне землетрясения учащается пульс, повышается артериальное давление, начинаются головные боли, повышается утомляемость, ослабляется работа зрительного и слухового аппарата.

Заслуживает внимания и такой факт. Американский биолог *Кристофер Додж*, наблюдая за 35-летней жительницей штата Орегон (это район сейсмической активности) Шарлоттой Кинг, всю жизнь страдающей головными болями, установил прямую взаимосвязь между мигренями пациентки и периодически резко увеличивающейся местной сейсмической и вулканической активностью. Выявленная корреляция подтвердилась тем, что по разыгравшейся сильной мигрени Ш. Кинг предсказала мощное извержение вулкана Сант-Хеленс 9 мая и калифорнийские землетрясения 26 апреля и 17 мая 1981 года.

Некоторые ученые высказывают предположение, что человеческий организм реагирует и на ультразвук, исходящий из недр Земли. Разумеется, не с помощью органа слуха. Когда мифический властелин подземного царства Плутон буквально «кричит», горные породы отчаянно «стонут» от страшных разрывающих напряжений, а животные мечутся в панике, люди ничего не слышат. Первым, вероятно, улавливает какие-то смутные, неясные сигналы, предупреждающие о надвигающейся беде, чуткое человеческое сердце.

Общеизвестно, что есть люди, способные предсказать изменения погоды за несколько дней вперед, причем довольно точно. Чаще всего это больные хроническим ревматизмом. По-видимому, боли, возникающие у ревматиков задолго до перемены погоды, вызываются электрической высокочастотной радиацией. Их источник — столкновение воздушных масс. Вероятно, точно так же тонко воспринимают и фиксируют различного рода излучения, идущие из очага гото-

вящегося землетрясения, люди с нарушенными защитными механизмами. Улавливая резкие изменения в местной сейсмической обстановке, предупредительные сигналы Земли, они и выдают довольно точные прогнозы назревающих землетрясений.

Сейсмотропные реакции наблюдаются и у совершенно здоровых людей, обладающих повышенной сейсмочувствительностью. Так, например, в 1965 году сильный толчок потряс югославский город Баня-Лука, и местный сейсмолог на свой страх и риск обратился при содействии властей к населению с призывом покинуть дома. Все вяли призыву «сейсмопрогнозиста». Основной толчок через двадцать минут до основания разрушил город. И ни один человек не пострадал! Весьма точно предсказал землетрясение в Лос-Анджелесе 19 ноября 1976 года геолог-любитель *Генри Минтура*. Несколько анало-

гичных случаев зафиксировано в литературных источниках. В частности, Плиний Старший в своих сочинениях рассказывает, что древнегреческий философ *Анаксимен Милетский* (VI век до н. э.) предсказал угрожавшее Спарте землетрясение. И действительно, город вскоре был разрушен. Точно так же своевременно предупредил своих сограждан о приближении землетрясения и один из учителей Пифагора...

Но не будем далее утомлять читателя гипотезами, объясняющими способности животных и некоторых людей прогнозировать землетрясения и вулканические извержения, а перейдем к новой теме нашего повествования, познакомимся, какими путями идет сейсмическая бионика к практическому решению проблемы повышения точности предсказания сейсмической погоды, используя опыт живой природы.



Сейсмическая бионика

В решении проблемы повышения точности прогнозирования землетрясений и вулканических извержений сейсмическая бионика идет несколькими путями.

Важный — непосредственное использование живых организмов в качестве индикаторов сейсмических событий. Один из самых успешных прогнозов землетрясений таким методом был осуществлен в Китае в 1975 году. Ему пред-

шествовала большая подготовительная работа. В 1974 году в провинции Ляонин на основе традиционных сейсмографических методов, в частности путем измерения магнитного поля Земли, удалось установить, что в 1975 году произойдет сильное землетрясение. Но назвать день, неделю, месяц, когда разразится подземная буря, никто не мог. Решено было обратиться за помощью к населению.

Двадцати восьми миллионам китайцев была разъяснена ситуация, по причине которой необходимо тщательно наблюдать за поведением всех видов животных и в случаях их аномального поведения сообщать в специально созданные штабы. Было выпущено в свет большое число красочных брошюр, из которых население могло почерпнуть сведения о том, как реагируют различные животные на приближающуюся катастрофу. На картинках были изображены свиньи, выбегающие из свинарников и в страхе даже перепрыгивающие через заборы; лошади, встающие на дыбы и не подчиняющиеся человеку; рыбы, выскакивающие из воды; крысы, покидающие жилые здания и разбегающиеся врассыпную. К концу 1974 года было подготовлено 100 тысяч добровольцев для борьбы с землетрясениями и более 20 тысяч наблюдательных групп, созданы специальные отряды для эвакуации населения, когда кризисная ситуация достигнет пика.

Длительное время сейсмологи и геофизики, находившиеся при главном штабе в центре провинции, скучали без работы. Но вот из разных мест стали поступать сообщения, сначала немногочисленные, а потом все в большем и большем количестве, до сотен и тысяч в день, о необычном поведении животных.

Змеи проснулись от зимней спячки, стали выползать на снег и замерзали. Крысы средь бела дня начали покидать свои норы, куда-то исчезли все кошки. Куры, утки и гуси, охваченные ужасом, с трудом взлетали на крыши домов и на деревья. Свиньи перестали есть. Лошади рвались из конюшен, ржали, разбивали перегородки стойл.

Коровы бодали друг друга. Словом, творилось нечто невероятное, все указывало на приближение катаклизма.

4 февраля 1975 года в 11 ч инженер штаба по борьбе с кризисной ситуацией объявил тревогу в южной части провинции: надвигается землетрясение. Из городов и деревень было эвакуировано все население. В открытой местности разбили лагерь для беженцев.

Нетрудно представить, какую ответственность взяли на себя те, кто отдал приказ эвакуировать миллионы людей! А что если землетрясение не произойдет?

Но оно произошло. 4 февраля 1975 года в 19 ч 36 мин начались подземные толчки. Землетрясение магнитудой 7,3 разрушило 90 процентов зданий. В прежние времена такая буря принесла бы гибель многим тысячам людей, но благодаря точному прогнозу, подсанкционному биопредвестникам, и своевременной эвакуации населения этого не произошло. Погибло несколько человек, и то только потому, что они бросились в свои дома до отмены тревоги.

Большая целенаправленная работа по изучению и практическому использованию сейсмочувствительности различных видов животных проводится в Японии. Особенно тщательно исследуются прогностические способности некоторых рыб. Японские сейсмологи провели любопытный научный эксперимент. Они решили подвергнуть испытаниям аквариумных золотых рыбок, давно признанных в Японии незаурядными сейсмографами, на точность предсказания подземных бурь. С этой целью на токийской сейсмологической станции «Метрополитэн мэрин» установили три

аквариума с золотыми рыбками.

Семь месяцев наблюдений, в течение которых в Токио и его окрестностях произошло 20 различной интенсивности землетрясений, показали, что 85 процентов подземных толчков были предсказаны за несколько часов и даже дней на основании аномального поведения рыбок. Это достаточно точное прогнозирование биопредвестника.

Так как наука и техника пока не создали сейсмического индикатора, который можно было бы повесить на стенку подобно aneroidному барометру, министерство сельского хозяйства Японии обратилось к жителям районов, подверженных частым землетрясениям, с призывом разводить в аквариумах золотых рыбок.

Для жителей Страны восходящего солнца, где сейсмостанции фиксируют 3—5 подземных толчков в день, такие рыбки-предсказательницы стали незаменимыми. В преддверии землетрясений они становятся беспокойными, начинают метаться по аквариуму из одной стороны в другую.

В настоящее время на одной опытной станции в Токио проходят испытания еще восемь видов рыб, по поведению которых предполагается прогнозировать наступление стихийных бедствий. За поведением подопытных рыб следят приборы, фиксирующие при помощи самописцев все события на бумаге. Наблюдения показывают, что перед землетрясениями наиболее часто проявляют беспокойство сомы.

Многие жители сейсмических районов Японии по рекомендации ученых обзаводятся аквариумами с морскими котами из семейства скатов.



Наблюдение за поведением золотых рыбок — чувствительных индикаторов тревожного состояния Земли

Известный японский сейсмолог профессор *Такеси Рикитакэ* советует своим соотечественникам: «Если вы хотите заранее узнавать о приближении землетрясений, заведите яка. За несколько часов до него животное обязательно объявит голодовку».

Некоторые коллеги Рикитакэ считают, что при выборе живых индикаторов землетрясений предпочтение следует отдать фазанам. В частности, такого мнения твердо придерживается профессор *Ф. Омо-ри*. Длительное время наблюдая за поведением фазанов в преддверии часто происходящих в Японии землетрясений, ученый пришел к заключению, что эти птицы отряда куриных очень чувствительны к самым ничтожным сотрясениям почвы на начальной стадии сейсмического возмущения.

Особенно тонко воспринимают сигналы приближающейся подземной грозы и оповещают о ней

криками фазаны рода *Phasianus versicolor*. Заслышав его необычные крики, люди немедленно выключают электричество и газ и выбегают из дома, чтобы не быть застигнутыми врасплох землетрясением. Фазаны-прогнозисты четко отличают сейсмические сотрясения от колебаний, вызываемых движением транспорта, и пока ни разу не ошиблись в своих предсказаниях.

Большое внимание японские ученые уделяют исследованию сейсмочувствительности пчел в надежде, что их можно будет использовать в качестве надежных прогнозистов сейсмических событий. К этому есть немало оснований. Например, японские пчеловоды не раз замечали, что в преддверии землетрясения эти мохнатые труженицы вместо того, чтобы в хорошую погоду заниматься сбором чудесного нектара с цветков, беспорядочно носились по воздуху или собирались в большой рой и повисали над ульями. Не менее интересен и такой факт. Оказывается, как установили японские ученые, по поведению диких пчел можно довольно точно составлять долгосрочные прогнозы «тайфуноактивности». Так, в 1974 году, когда эта активность была повышенной, пчелы выбирали себе для местожительства дупла деревьев и щели деревянных построек. В более спокойном 1975 году их рой предпочитали травянистые ложбины. И еще. В сочинениях Плиния и других древнеримских писателей и философов отмечены случаи, когда пчелы покидали свои ульи за 10 дней и даже за месяц перед сильной подземной бурей.

В чем секрет универсальной способности пчел прогнозировать гря-

дущие землетрясения, тайфуны и другие стихийные бедствия, пока никто досконально не разобрался. Ученые полагают, что вся тайна этого феномена заключается в богатейшем арсенале органов чувств, которым природа наградила пчел. У них великолепный зрительный аппарат и исключительное обоняние. У них множество различных механорецепторов. Одни из них воспринимают звуки, другие — просто механические сотрясения, третьи — тактильные (осозательные) ощущения. Есть у них и специальные рецепторы, воспринимающие температуру, влажность. Вероятно, пчелы обладают и другими биологическими датчиками, чутко воспринимающими сигналы, посылаемые пробуждающей земной твердью, тонко реагирующие на различные аномалии атмосферы.

В 1963 году в предисловии к седьмому изданию своей книги «Из жизни пчел» широко известный своими исследованиями физиологии органов чувств самых разнообразных животных *Карл Фриш* писал: «Жизнь пчел похожа на волшебный колодец: чем больше из него черпаешь, тем обильнее он наполняется водой». Можно надеяться, что недавно начатые японскими учеными бионические исследования этого «волшебного колодца» обогатят теоретическую и практическую сейсмологию новыми методами и средствами прогнозирования подземных бурь.

Наряду с учеными, занимающимися изучением биосеймопредвестников, в Японии широко привлекается к наблюдению за поведением животных в преддверии землетрясений население, и прежде всего школьники. Так, японский

сейсмолог *Кодзо Кудо*, опросивший несколько тысяч школьников в префектуре Акита (север острова Хонсю), сильно пострадавшей в мае 1983 года от разгула стихии, собрал обширный материал о биопродвестниках. Наблюдения детей показали, что вороны, во множестве населяющие побережье Японского моря в этом районе, исчезли за несколько часов до подземных толчков. Необычное беспокойство проявили перед землетрясением куры, попугаи, собаки и даже дождевые черви и тараканы. По мнению Кудо, наблюдения детей могут лечь в основу научного прогнозирования землетрясений.

Значительное внимание развитию сейсмической бионики уделяется в США. После первого эксперимента, поставленного недалеко от Лос-Анджелеса в 1977 году, с колонией одного из видов мышей и бамбуковых крыс с целью проверки гипотезы о способности некоторых животных прогнозировать сейсмические события сотрудники Центра по изучению землетрясений за прошедшие 10 лет создали сеть из 800 наблюдательных пунктов вдоль знаменитого разлома Сан-Андреас (Калифорния). Круглые сутки на всех этих пунктах с помощью специальной аппаратуры ведутся наблюдения за поведением определенных видов животных, результаты обобщаются с помощью ЭВМ.

В Казахской ССР, неподалеку от столицы республики Алма-Аты, создан первый в нашей стране бионический сейсмополигон. Ему отведено заповедное урочище площадью 30 гектаров. Здесь на воле в естественных условиях обитает много зверей, птиц, пресмыкающихся и насекомых. За поведением

всех этих подопытных животных ученые с помощью оптических и других приборов ведут самые тщательные наблюдения. Ведется работа по выявлению аномалий в поведении различных животных в преддверии землетрясений и вулканических извержений и в других сейсмогических районах Советского Союза. К сбору сведений о биосейсмопродвестниках привлекаются преподаватели биологии и зоологии университетов, сельскохозяйственных и педагогических институтов, педучилищ, средних школ, а также сотрудники зоопарков, заповедников, заказников, расположенных в сейсмически активных зонах, охотоведы, егеря, лесничие, работники животноводческих ферм и, конечно же, юные натуралисты, члены общества охраны природы.

В настоящее время в реестре сейсмической бионики числится около 80 видов (от насекомых до приматов), зарекомендовавших себя в качестве сейсмопрогнозистов. Большинство из них — домашние животные, окружающие человека (собаки, кошки, рогатый скот и др.).

Теперь, когда сейсмочувствительность многих видов животных стала общепризнанным фактом, первостепенной задачей является расширение поиска в царстве фауны наиболее тонких индикаторов подземных бурь, выяснить предельно точно, какие именно физические раздражители (вариации электромагнитных полей, инфра- или ультразвуки, газы, просачивающиеся через трещины земли из ее глубоких горизонтов, электростатическое зарядение аэрозольных частиц и др.) являются причиной аномального поведения того или иного вида животных перед

землетрясениями или вулканическими извержениями. В этих сложных и важных целенаправленных поисках, исследованиях особое внимание должно быть уделено диким животным, поскольку, как показывают наблюдения и эксперименты, они значительно более чувствительны к восприятию геофизических аномалий, чем домашние животные, у которых в результате длительного содержания под опекой человека притупились многие инстинкты.

Лучше всех «предчувствуют» сейсмические события животные-эндемики, исконные обитатели горных, сейсмически активных районов. Именно среди них, издревле и постоянно живущих в страхе быть уничтоженными подземной грозной стихией, сумевших выжить и сохранить свой вид, можно найти множество надежных «работников биопрогноза». Вот тому убедительный пример.

10 сентября 1984 года в филиппинской провинции Альбай началось извержение вулкана Майон. Однако для жителей деревни, которая находится в непосредственной близости от вулкана, оно не обернулось катастрофой. О предстоящем извержении им «сообщили» заранее... дикие кабаны и маргышки, обитающие в лесах и кустарниках на склонах Майона. За десять дней (!) до извержения эти животные спустились вниз и поселились на полях, обрабатываемых крестьянами.

На Филиппинских островах имеется 14 действующих вулканов. Они часто дают о себе знать жителям окрестных поселений. Накопив и обобщив за многие годы наблюдений богатый фактический материал об аномальном пове-

дении отдельных видов животных-эндемиков в преддверии вулканических извержений, филиппинские ученые недавно выступили в печати с предложением «в будущем с доверием использовать столь явно проявляющуюся интуицию животных для своевременной эвакуации населения из опасной зоны».

Точно так же многие сейсмочувствительные животные могут оказать неоценимую помощь геофизикам в предсказании землетрясений, если организовать в сейсмически неблагоприятных районах биосейсмические стационары.

У «живых сейсмологических систем» много преимуществ перед сейсмотехническими системами, созданными инженерами. Главные: «живые сейсмологические системы» везде имеются в природе; их можно использовать в натуре, такими, как они есть; на их изготовление не надо затрачивать средств; некоторые из них могут заменить целую серию современных сейсмических контрольно-измерительных устройств, так как способны воспринимать сразу несколько геофизических предвестников грядущего бедствия, а это значительно увеличивает надежность биопрогноза.

В поисках новых эффективных методов и средств повышения точности прогнозирования вулканических извержений и землетрясений синоптическая бионика в последние годы занялась изучением сейсмочувствительности некоторых видов растений. Эта работа ведется в ряде стран, в том числе и в нашей, и принесла уже первые, весьма ценные результаты. Приведем несколько примеров.

Японский профессор *Хидея Ториведи*, исследуя в течение не-

скольких лет дерева акации, установил, что они могут сигнализировать человеку своим поведением о приближении землетрясения. Опираясь на свое открытие, ученый, по сообщениям печати, сумел предсказать восемнадцать землетрясений в районах Киото и Токио.

На острове Ява (Индонезия) растет экзотический цветок — королевская примула — и называется там «цветком извержений», «цветком разрушения» или «цветком смерти». Королевскую примулу можно найти лишь на склонах вулканов. Она отличается от всех своих сестер-примул тем, что расцветает только накануне извержения вулкана и служит местным жителям своеобразным сигнализатором грозящего им бедствия. Завидев расцветшую королевскую примулу, жители деревень, расположенных у подножия вулкана, всегда покидают свои дома и уходят в безопасные места. И заметьте: этот чудесный цветок, по свидетельству аборигенов многих поколений, ни разу не ошибся в своих предсказаниях!

Почему же королевская примула, как правило, расцветает незадолго перед извержением вулкана, а не в другое время?

На этот вопрос многие годы никто не мог точно ответить. Секрет экзотического цветка — природного сейсмографа — раскрыл академик Академии наук Белоруссии *Е. Г. Коновалов*. И вот что примечательно и поучительно: открытие было сделано ученым в области, очень далекой от вулканологии. Оказывается, возникающее в преддверии извержения вулкана ультразвуковое поле резко ускоряет движение питательных соков по капиллярам королевской примулы,



Королевская примула (остров Ява) расцветает накануне извержения вулкана

интенсифицируется процесс обмена веществ, и цветок распускается!

Большинство растений обладает способностью реагировать даже на самые незначительные изменения магнитного поля Земли. В частности, американский биолог, профессор Северо-Западного университета *А. Браун* на основе многолетних экспериментов установил, что поглощение кислорода картофелем меняется в зависимости от колебаний магнитного поля Земли. Поставив опыты на других растениях, Браун пришел к аналогичным результатам.

Среди растений имеется много и таких, у которых хорошо развито «чувство обоняния», способных безошибочно обнаруживать в атмосфере

ре присутствие самых мизерных количеств серы, хлора, сероводорода, фтора, этилена, аммиачных соединений и даже различать изомеры — вещества, одинаковые по составу, но различающиеся по строению и по химическим и физическим свойствам.

Большой интерес для сейсмической бионики представляют исследования, проведенные группой западногерманских ученых во главе с профессором *Вернером Эрнстом* из Тюбингена. Во время одного из экспериментов, проведенного неподалеку от Штутгарта, ученые установили, что за несколько недель до землетрясения меняется цвет листьев у цветков, кустарников и деревьев. В результате последующих опытов группа профессора Эрнста пришла к выводу, что это изменение вызывается повышением концентрации природных газов в почве приблизительно на два процента. После катаклизма она вновь быстро приходит в норму. Ученые считают, что данное явление порождается колоссальным скачком давления в глубинных слоях Земли. Как указывает профессор Эрнст, полученные им результаты имеют весьма важное практическое значение для предсказания землетрясений и вулканических извержений, ибо изменения цвета листьев вполне поддаются регистрации и измерению. С помощью космической фотографии с использованием спутников можно вести систематические наблюдения за колебаниями в окраске растительности сейсмически опасных районов и заранее предупредить население в случае возникновения непосредственной угрозы, спасая тем самым тысячи человеческих жизней.

Настало время в районах активного вулканизма, в районах, подвергающихся частым землетрясениям, создать подобно зоолого-сейсмологическим стационарам ботанические сейсмологические сады, сейсмологические парки-стационары, ботанические сейсмологические лаборатории из различных видов цветков, кустарников, деревьев, в которых бионики, специалисты в области индикационной геоботаники, биофизики могли бы работать совместно с геофизиками, проводить исследования сейсмочувствительности отдельных видов растений, корректировать с их помощью прогнозы «сейсмической погоды», рассчитанной современной электроникой.

Растения за сотни миллионов лет эволюции сумели многому научиться. Они играют активную роль в многообразном восприятии нами окружающего мира. И, беря себе на вооружение «сейсмологический опыт» растений, мы тем самым как бы продолжаем древо жизни, самые древние и глубинные корни которого идут от первой травинки, появившейся в зеленом ковре нашей планеты. Об этом образно сказал в одной из своих замечательных «Лирических эпиграмм» *С. Маршак*:

Человек, хоть будь он трижды гением, —
Остается мыслящим растением.
С ним в родстве деревья и трава.
Не стыдитесь этого родства.

Для поиска в живой природе надежных сеймопредсказателей не требуются специальное образование и дорогостоящее оборудование. Практически в нем может участвовать каждый любознательный человек, живущий в сеймоопасном

районе. Надо лишь быть зорким среди природы, суметь понять ее сейсмологические подсказки. Для выполнения функций индикатора назревающих сейсмических событий биологическая система (животное, растение) должна отвечать двум основным требованиям: обладать высокочувствительным избирательным аппаратом, способным воспринимать тот или иной сигнал или комплекс сигналов — предвестников вулканического извержения или землетрясения; реакция на обнаруженные геофизические аномалии должна быть заблаговременной, простой, наглядной и понятной.

Значимость каждого нового выявленного в животном и растительном мире сейсмобиопредвестника трудно переоценить. Пока геофизическая наука не может давать точных краткосрочных прогнозов подземных бурь. Сегодня только живые сейсмологические системы, сосредоточенные в ботанических и зоосейсмологических стационарах, могут «коллективно», находясь в естественных, привычных условиях обитания, обеспечить нас безошибочным прогнозом приближающейся катастрофы.

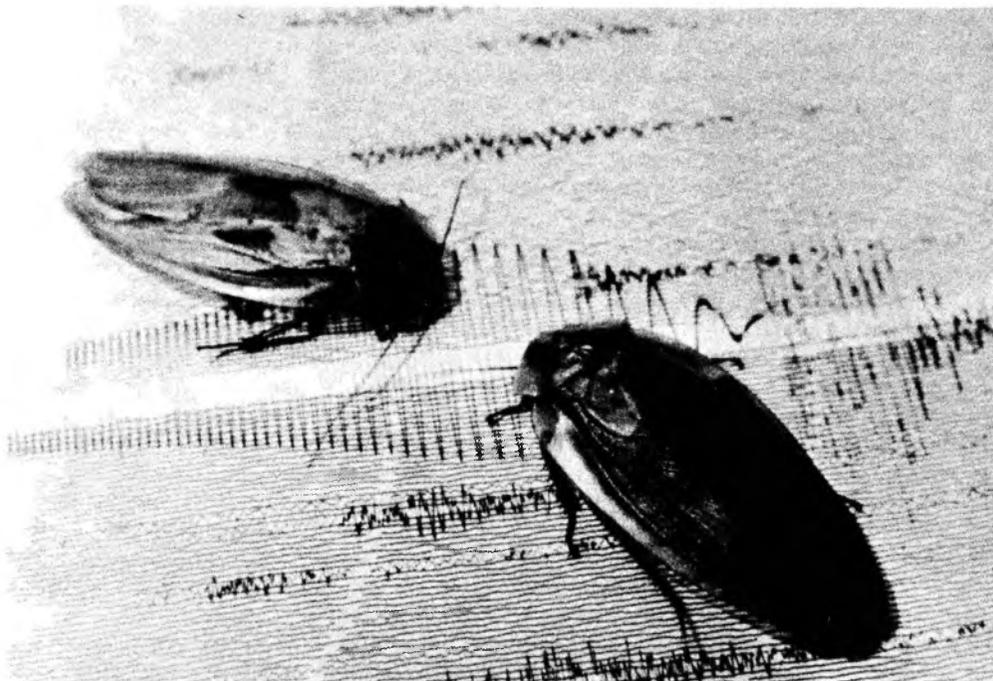
В последние годы наметился еще один путь биологизации сейсмологии. Речь идет о создании композиционных, гибридных сейсмологических устройств, о непосредственном включении живых сейсмочувствительных организмов в электронные системы, об использовании для предсказаний землетрясений и вулканических извержений физиологических характеристик различных организмов.

В ряде случаев, как показали эксперименты, изменения физических процессов в организме животных значительно опережают возникновение поведенческих реакций, особенно при действии на некоторые виды электрических и магнитных полей. Поскольку физиологические показатели иногда бывают более чувствительными при использовании того или иного животного в качестве индикатора подземных бурь, ими, как считают бионики, следует руководствоваться при оперативном, краткосрочном прогнозировании сейсмических событий. И еще. Помимо таких традиционных физиологических показателей, как электрическая активность мозга, температура, сердечный и дыхательный ритмы, особого внимания заслуживают биологически активные точки, чувствительность которых к действию внешних физических полей особенно велика.

Идея создания такого рода «полуживых» приборов вообще не нова. В свое время выдающийся советский физик, основоположник отечественной научной школы физической оптики, академик *С. И. Вавилов* (1891—1951) предложил метод обнаружения и регистрации сверхслабых световых сигналов с помощью живого глаза в металлической конструкции, что ознаменовало принципиально новый подход к конструированию прибороавтоматов.

За прошедшие годы методика использования рецепторов и анализаторов¹ живых существ, естественно, значительно усовершенствовалась. Бионики научились исполь-

¹ Анализаторы, или органы чувств, живых организмов представляют собой трехзвенные системы, включающие следующие три ступени. Первое звено анализа-



Эксперимент с колумбийскими тараканами. Выбор этих крупных (около 7 см) насекомых не случаен: имеется информация об их крайне необычном поведении перед землетрясением

зовать чувствительные органы животных, не отделяя их от тела: к ним «прилаживают» специальные датчики или вживляют электроды в нерв, идущий от чувствительного элемента. Это наилучшим образом разрешает проблему питания, т. е. поддержания нормальной жизнедеятельности органов, и позволяет

торной цепи — приемник, или рецептор, обращенный к внешней (иногда и к внутренней) среде и предназначенный для приема сигналов-раздражителей и переработки этих сигналов в нервные импульсы. Вторым звеном анализатора является нервный пучок, предназначенный для проведения нервных импульсов рецептора. Третье звено — мозговой центр, в котором происходит окончательная переработка воспринятых сигналов, различение раздражений и принятие решений. Понятие об анализаторах было введено в физиологию великим русским ученым *И. П. Павловым* в 1909 году.

использовать живой биообъект в технической системе продолжительное время.

В качестве биологического материала для экспериментов и практического построения «полуживых» сейсмологических приборов-автоматов бионики избрали насекомых. И вот почему.

Во-первых, насекомые — старейшие жители планеты. Природа щедро одарила их разнообразными анализаторами, которые отличаются от искусственных воспринимающих систем небольшими габари-

тами, высокой надежностью, энергетической экономичностью, а главное — исключительной чувствительностью к определенному типу воздействий внешней среды.

Во-вторых, как уже отмечалось выше, во всем зоологическом царстве класс насекомых самый многочисленных — $\frac{2}{3}$ всех видов животных. На каждого жителя Земли приходится 250 млн. всевозможных колющих, сосущих, сверлящих, пилящих существ. Это неисчерпаемый экспериментальный материал как для исследований, так и для создания так называемых композиционных систем.

О количестве видов насекомых, обитающих на Земле, в научной литературе приводятся самые разноречивые данные. Французский профессор *Реми Шовен* пишет, что в настоящее время существует около 600 тысяч видов насекомых. Но эта цифра явно занижена. По оценке американского ученого *Метталфа* еще в 1940 году число видов насекомых определялось в полтора миллиона, бельгийский же зоолог профессор *Леклерк* полагает, что существует 2 миллиона видов насекомых. Но и это оказывается не предел. Выдающийся энтомолог *Рэйли* определил возможное количество насекомых как величину порядка 10 миллионов видов! Именно эта цифра приводится, в частности, и в известной старой монографии английского специалиста *Девиды Шарна*, и в некоторых современных руководствах.

В-третьих, морфология насекомых проще, чем высших животных, хотя и не следует заблуждаться на сей счет: вспомним о количестве единичных рецепторов в одном только усике пчелы или му-

равья, а ведь каждый из рецепторов — это сам по себе довольно сложный прибор. В целом же усик насекомого представляет собой сложную систему — поди разобраться в этом хитросплетении ультраминиатюрных элементов, деталей, узлов.

Наконец, в-четвертых, ученые ежегодно открывают от трех до десяти тысяч новых видов. Причем, судя по данным, публикуемым в энтомологической периодике всего мира, темп открытия новых видов не снижается. А ведь каждый новый, еще не открытый и не изученный наукой вид — это потенциальный «патентоноситель» идей бионического содержания!

А теперь представьте себе в недалеком будущем опытное конструкторское бюро, в котором биологи и инженеры соединят рецепторные клетки какого-то насекомого, уникального «специалиста» по прогнозированию землетрясений или вулканических извержений, с электронным устройством, обрабатывающим сигналы, принимаемые этими рецепторами из пробуждающейся земной тверди.

В первом приближении структурная схема такой композиционной, биоэлектронной системы будет выглядеть так: рецепторы насекомого, расположенные на антеннах усиках, — головные ганглии (нервные узлы, которые заменяют насекомому мозг) — крошечные электроды, подключенные к выходу (аксону) центральных нервных клеток, — электронный усилитель — анализатор сигналов — специальные индикаторы.

Установленные на сейсмостанциях такого рода «полуживые» приборы будут очень точно и надежно сигнализировать сейсмоло-

гам о предстоящих сейсмических событиях.

Фантазия? Отнюдь. Такого рода композиционными системами уже давно пользуются в США и других странах для обнаружения опасного для жизни шахтеров рудничного газа. В качестве детектора запахов в этих системах работает... муха.

Обнаружив в воздухе повышенную концентрацию ядовитого газа, муха начинает генерировать импульсы характерной формы, и электронный анализатор немедленно включает световой или звуковой сигнал тревоги. Все предельно просто и удобно: такой датчик запахов, как муха, легко найти; биотоки мухи нетрудно расшифровать, а главное — у этих насекомых превосходное обоняние (обычная муха способна различать до 30 тысяч запахов!). Да и в эксплуатации такая биотехническая система очень удобна и экономична: если живой блок выйдет из строя, в обычной коробке из-под спичек всегда можно хранить несколько десятков запасных.

Сегодня на счету биоников ряд экспериментальных и действующих композиционных систем, блестяще показавших свою высокую эффективность в биологическом мониторинге.

И все же, как ни рационально и своевременно сегодня использование различных видов животных и растений в качестве прогнозистов подземных бурь, как ни перспективно использование биологических анализаторов в композиционных сейсмологических системах, не в этом главная задача сейсмической бионики. Перед учеными-биониками стоит более сложная задача. Речь идет о том, чтобы пос-

тичь секреты многомиллионнолетнего опыта природы в созидании живых высокочувствительных сейсмологических систем и положить его в основу создания принципиально новой инструментальной геофизики. Сошлемся на мнение современных авторитетов в области научной и практической сейсмологии и бионики.

Е. Ф. Саваренский (член-корреспондент АН СССР) говорил: «Я за то, чтобы изучать поведение животных перед подземными толчками. Конечно, такие исследования нелегко поставить. Очень важно смоделировать те чувствительные органы животных, которые воспринимают какие-то сигналы из недр в связи с происходящими там деформациями и микроземлетрясениями и свидетельствуют о надвигающемся бедствии. Тогда сейсмологи смогли бы обойтись без услуг самих животных...»

Я. Суэхиро (Токийский университет, Япония): «Раскрытие тайн механизма повышенной чувствительности рыб к приближающемуся землетрясению может помочь предсказать возникновение подземной бури по меньшей мере за неделю...»

Л. Жерарден (Франция): «...Именно рыбки-сомики помогут найти идею прибора, предсказывающего землетрясения...»

Разве не заманчиво по образу и подобию рыбьего «сейсмографа» создать сверхчувствительную бионическую (техническую) систему на современных микропроцессорах? Сейсмографа, не просто регистрирующего, а предсказывающего землетрясения и вулканические извержения. Это же, говоря словами известного советского бионика, нейробиолога, доктора биологичес-

ких наук Ю. А. Холодова — «на грани фантастики»!

Поисками решения этой поистине фантастической, архитрудной задачи ныне занимаются многие биологи в содружестве с биологами, зоопсихологами, нейрофизиологами, биофизиками, электронщиками, сейсмологами и вулканологами. Ученые пытаются досконально установить, какими именно органами чувств животные, растения, человек воспринимают те или иные предвестники подземных бурь, стремятся выявить, какие еще пока неизвестные геофизикам сигналы идут из-под земли.

Упорные, целенаправленные поиски в этом направлении принесли уже первые, весьма ценные для геофизического приборостроения сведения.

Бионики надеются, что, после того как ученые, работающие на стыке естественных и технических наук, общими усилиями выявят корреляционные связи между аномальным поведением живых организмов и назревающими сейсмическими событиями, они в конце концов установят какую-то однозначную зависимость между инстинктами животных и изменением их поведения в преддверии подземных бурь. Нужно только набраться терпения. Справедливо замечено, что у каждого времени свои возможности.

Возможности искусственного воспроизведения природных объектов, живых структур всегда зависят от исторических условий, от определенного уровня развития науки и техники. В развитии творческой мысли и технических воз-

можностей человека не существует какого-либо предела. Следовательно, нет и не может быть естественных объектов, принципиально не воспроизводимых искусственно. Существуют лишь объекты, которые не могут быть смоделированы на данном этапе развития науки и техники. Но по мере развития наших знаний и технических средств возможности моделирования и воспроизведения естественной природы расширяются.

Будущее, как известно, рождается из настоящего. Сегодняшняя сейсмическая бионика — это неожиданные маршруты поисков и острое ощущение разительности предстоящих открытий, это глубины и высоты.

Внедрение бионических знаний в сейсмологию и вулканологию по существу только началось, и сейчас трудно представить себе, каких вершин добьются ученые даже в обозримом будущем, используя все возрастающую лавину идей, принципов, конструкций и технологических приемов, которые удалось и предстоит раскрыть в живой природе для повышения точности прогнозирования подземных бурь. Но одно можно сказать с совершенной определенностью: когда бионические методы и средства прогнозирования землетрясений и извержений огнедышащих гор получат широкое практическое применение, слепые силы природы не будут больше властны над человеком. Мы вправе также надеяться, что настанет время, когда объединенное в свободном труде человечество будет черпать необходимую ему энергию прямо из земных недр.

Акселерограф. Сейсмограф для измерения ускорений грунта как функции времени.

Активный разлом. Разлом, по которому в историческое время (или в голоцене) происходило смещение пород или возникали очаги землетрясений.

Амплитуда волны. Максимальная высота или глубина впадины волны.

Асейсмичный район. Район, в котором почти не бывает землетрясений.

Астеносфера. Слой, подстилающий литосферу и характеризующийся низкими скоростями и значительным затуханием сейсмических волн. Это мягкий слой, вероятно частично расплавленный.

Афтершоки. Более слабые сейсмические толчки, возникающие в ограниченном объеме земной коры после сильнейшего в данной серии землетрясения.

Волны Лява. Сейсмические поверхностные волны, при распространении которых происходит только горизонтальное смещение частиц перпендикулярно направлению движения волны.

Волны Релея. Сейсмические поверхностные волны, при распространении которых частицы совершают колебания только в вертикальной плоскости, содержащей направление волны.

Вулканические землетрясения. Землетрясения, связанные с вулканической деятельностью.

Вулканы. Отверстия в земной коре, через которые магма может выйти на поверхность.

Геодиметр. Точный геодезический прибор для измерения расстояния между двумя точками на поверхности Земли.

Гипоцентр (фокус) землетрясения. Место начала вспарывания горных пород в очаге землетрясения.

Годограф, кривая времени пробега (сейсмических волн). График зависимости времени пробега от расстояния, составляемый для вступлений сейсмических волн, проходящих из удаленных очагов. Сейсмические волны разных типов имеют различные годографы.

Грабен. Участок земной коры, обычно узкий и длинный, который опустился относительно соседних участков по ограничивающим сбросам.

Длина волны. Расстояние между соседними гребнями или впадинами волн.

Длительность сильных колебаний. Интервал времени между первым и последним пиками сильных колебаний грунта, имеющими амплитуду выше определенного значения.

Землетрясение. Колебания Земли, вызываемые прохождением сейсмических волн, излученных из какого-либо источника упругой энергии.

Изосейсты. Линии, соединяющие точки с одинаковой интенсивностью землетрясения и разделяющие области с различным уровнем интенсивности.

Интенсивность землетрясения. Мера величины сотрясения грунта, определяемая степенью разрушения построенных людьми зданий, характером изменений земной поверхности и данными об испытанных людьми ощущениях.

Кора Земли, земная кора. Внешняя каменная оболочка Земли.

Лава. Магма, или расплавленная горная порода, достигшая земной поверхности.

Литосфера. Внешняя жесткая оболочка Земли над астеносферой. Включает в себя кору, континенты и плиты.

Лунные моря. Темные низменные равнины на поверхности Луны, сложенные до неизвестной глубины вулканическими породами.

Магма. Расплав, при остывании которого образуются изверженные (магматические) породы.

Магнитуда землетрясения. Мера величины землетрясения, определяемая как десятичный логарифм амплитуды наибольшего колебания грунта, записанного при прохождении сейсмической волны того или иного типа, с внесением стандартной поправки, учитывающей расстояние от эпицентра.

Различают три вида магнитуды: рихтеровскую (локальную) магнитуду, магнитуду по объемным продольным волнам и магнитуду по поверхностным волнам.

Мантия Земли. Наибольшая по объему часть земных недр, расположенная между корой и ядром на глубинах от 40 до 2900 км. Состоит из плотных силикатных пород и делится на ряд концентрических сферических слоев.

Микросейсмы. Слабые, почти непрерывные сейсмические волны, образующие сейсмический фон, или «шумы», Земли. Их можно обнаружить только с помощью сейсмографов. Часто вызываются морским прибоем, океанскими волнами, ветром, деятельностью людей.

Надвиги и взбросы. Разрывы со смещением по падению (по восстанию), при которых горные породы, залегающие над плоскостью разрыва, двигались вверх относительно подстилающих пород, так что более древние слои оказались выше более молодых.

Период волны. Интервал времени между соседними гребнями в синусоидальной последовательности волн; величина, обратная частоте циклических явлений.

Плита, литосферная плита (в тектонике плит). Крупный, относительно жесткий сегмент литосферы Земли, перемещающийся относительно других плит над более глубокими слоями оболочки Земли. Плиты сходятся в зонах сближения (конвергенции) и отходят одна от другой в зонах расхождения (дивергенции).

Плоскость разрыва. Плоскость, ближе всего совпадающая с поверхностью, вдоль которой происходило смещение по разрыву.

Поверхностные сейсмические волны. Волны, которые распространяются только по поверхности Земли; их скорости меньше скорости поперечных волн. Существуют два типа поверхностных волн: волны Лява и Релея.

Ползучесть (медленное проскальзывание по разлому). Медленное смещение, происходящее вдоль разлома и не вызывающее землетрясений.

Поперечные волны (secondary — волны), или вторичные сейсмические волны, распространяющиеся медленнее, чем продольные волны, и состоящие из упругих колебаний, проперечных по отно-

шению к направлению распространения волн. Не проходят через жидкость.

Прогноз землетрясений. Предсказание времени, места и магнитуды землетрясений; предсказание характера сильных колебаний грунта.

Продольные волны (primary — волны), или первичные волны, т. е. наиболее быстрые волны, распространяющиеся от источника сейсмических колебаний через горные породы и представляющие собой последовательное сжатие и разрежение материала.

Раздел Мохоровичича. Граница между корой и мантией, выраженная быстрым возрастанием скорости сейсмических волн до значений более 8 км/с. Глубина — от 5 км (под дном океанов) до 45 км (под горными массивами).

Разжижение грунта. Происходящий в рыхлом почвенном слое или в линзах песка процесс, в результате которого при землетрясении породы ведут себя не как влажная твердая масса, а как плотная жидкость.

Разрастание морского дна. Процесс, в результате которого плиты, соприкасающиеся по срединно-океаническому хребту, расходятся, освобождая место для новой океанической коры. Этот процесс может продолжаться со скоростью 0,5—10 см/год на протяжении многих геологических периодов.

Разрыв, разлом. Трещина (или зона трещин) в горных породах, разные стороны которой смещены друг относительно друга параллельно ей. Величина смещения по разрывам может быть различной: от нескольких сантиметров до десятков километров.

Рой землетрясений. Серия землетрясений, происходящих в одном и том же районе; ни одно из землетрясений роя не выделяется среди других по интенсивности.

Сброс. Разрыв со смещением по падению, когда горные породы, залегающие над плоскостью разрыва, двигались по этой плоскости вниз.

Сбросовый уступ. Уступ или крутой склон, образованный смещением земной поверхности.

Сбросо- и взбросо-сдвиг. Разрыв, в котором сочетаются смещения по падению и по простиранию.

Сейсмическая волна. Упругая волна, распрост-

раняющаяся в Земле и создаваемая обычно очагом землетрясения или взрывом.

Сейсмический момент. Произведение модуля сдвига горных пород на площадь разрыва и амплитуду смещения. Мера величины землетрясения.

Сейсмический раздел. Поверхность (или тонкий слой), при пересечении которой резко меняется скорость волн.

Сейсмический риск. Относительный риск — относительная величина сейсмической опасности, меняющаяся от одного места к другому. Вероятностный риск — вероятность того, что землетрясение произойдет в определенном районе в определенный промежуток времени.

Сейсмичность. Распределение землетрясений во времени и в пространстве.

Сейсмоактивный разлом. Разлом, вдоль которого механическая прочность пород такова, что по нему может произойти резкая подвижка.

Сейсмограф. Прибор для записи движений земной поверхности, вызываемых сейсмическими волнами.

Сейсмология. Наука о землетрясениях, их очагах и распространении волн в недрах Земли.

Сейсмометр. Датчик сейсмографа, обычно представляющий собой маятник на специальной подвеске.

Сеймоскоп. Простой сейсмограф, записывающий на пластинке без марок времени.

Сейши. Колебания (стоячие волны) воды в заливе или озере. Сильные колебания грунта. Колебания грунта вблизи очага землетрясения, возникающие в результате сложения сейсмических волн разных типов с большой амплитудой.

Смещение по разрыву. Движение одного крыла разрыва относительно другого.

Срединно-океанический хребет. Крупная линейная возвышенная форма рельефа океанического дна протяженностью во многие сотни километров. Имеет вид горного хребта с рифтовой долиной вдоль оси.

Тектоника плит. Теория движения и взаимодействия литосферных плит; с ее помощью пытаются объяснить землетрясения, вулканическую деятельность и горообразование как следствие крупных горизонтальных перемещений поверхностных частей Земли.

Тектонические движения. Процесс деформации

больших объемов горных пород во внешней части Земли, происходящий под действием возникающих в Земле сил.

Тектонические землетрясения. Землетрясения, возникающие в результате внезапного высвобождения энергии, которая накопилась при деформации больших объемов горных пород в недрах Земли.

Теория упругой отдачи. Теория происхождения землетрясений, согласно которой крылья разлома остаются прижатыми друг к другу, тогда как в окружающих горных породах медленно накапливается энергия упругой деформации; затем происходит резкое смещение по разлому с высвобождением этой энергии.

Трансформный разлом. Разлом со смещением по простиранию, соединяющий концы отрезков срединно-океанического хребта, островной дуги или горных цепей на краях континентов. Вдоль трансформных разломов пары соседних плит проскальзывают одна относительно другой.

Форшоки. Относительно слабые сейсмические толчки, предшествующие сильнейшему из серии землетрясений, очаги которых приурочены к ограниченному блоку земной коры.

Цунами. Длинная океаническая волна, вызываемая обычно подвижкой в дне океана при землетрясении.

Эпицентр землетрясения. Точка на поверхности Земли, расположенная непосредственно над фокусом (гипоцентром) землетрясения.

Ядро Земли. Центральная часть Земли глубже 2900 км. Предполагается, что земное ядро состоит из железа и силикатов. Внешняя часть его находится в расплавленном состоянии, а внутренняя — в твердом.

- Абе. 158.
 Аристотель (384—322 до н. э.). 25, 53.
 Ашихин В. 87.
- Бернхард Э. 40.
 Бирфельд Я. 166.
 Болт Б. 68, 90, 128.
 Борисяк А. А. (1872—1944). 57, 58.
 Браун А. 175.
 Брюллов К. П. (1799—1852). 98.
 Быханов Е. В. 56.
 Бэкон Френсис (1561—1626). 56.
- Вавилов С. И. (1891—1951). 54, 177.
 Вегенер Альфред Лотар (1880—1930). 56,
 57—60.
 Вейт Д. 164.
 Верн Жюль (1828—1905). 134.
 Вернер Эрнст. 176.
 Вуд Р. У. (1868—1955). 166.
- Галушкин Ю. И. 63.
 Гамбурцев Г. А. (1903—1955). 54, 74.
 Гастальди Я. 17.
 Геродот (490 — ок. 425 до н. э.). 25, 97.
 Глушков С. А. 63.
 Голицын Б. Б. (1862—1916). 74, 84.
 Гомер. 25.
 Горький А. М. (1868—1936). 31.
 Гоулд Томас. 165.
 Гржимек Бернхард. 149.
 Гумбольдт Алек. (1769—1859). 14, 56, 151.
- Даль В. И. (1801—1872). 14.
 Дарвин Чарлз Роберт (1809—1882). 14, 143.
- Демокрит (ок. 460—370 до н. э.). 7.
 Дженнингс П. 45.
 Диксон Д. 70.
 Диспер Н. Н. 160.
- Жерарден Л. 158, 180.
 Жуковский Н. Е. (1847—1921). 8, 10.
- Зоненшайн Л. П. 63.
- Карлейль Томас (1795—1881). 91.
 Касакхара К. 79.
 Кеплер Иоганн (1571—1630). 4.
 Килстон Стив. 55.
 Кнопоф Леон. 55.
 Ковалев А. А. 63.
 Коновалов Е. Г. 175.
 Корреа К. И. 116.
 Крашенинников С. П. (1711—1755). 133.
 Крестников В. Н. 92.
 Кристофер Д. 167.
 Кропоткин П. Н. (р. 1910). 63.
 Кудо Кодзо. 173.
- Лисицин А. П. (р. 1923). 63.
 Лобковский Л. И. 63.
 Кукал Эденек. 128.
- Леклерк. 179.
 Леонардо да Винчи (1452—1519). 4, 8.
 Ломоносов М. В. 4.
 Лоунштайн П. Л. 50.
 Маршак С. Я. (1887—1964). 176.
 Метилф. 179.

- Милн Д. Дж. 164.
Милн М. 164.
Минтура Г. 168.
Монахов Ф. И. 86, 87, 89.
Морган Генри. 28.
Москальцев П. 147.
Мушкетов И. В. (1850—1902). 74.
- Нейзон. 108.
Несмеянов А. Н. (1899—1980). 7.
Николози П. 119.
- Овидий (43 до н. э. — 18 н. э.). 25.
Олджермиссен Т. С. 48.
Омори Ф. 171.
Орлов А. П. 74.
Орлов В. 167.
Орозий (380 — ок. 420). 25.
- Павлов И. П. (1849—1936). 178.
Пейве А. В. (р. 1909). 63.
Песков В. М. (р. 1930). 146.
Пийп Б. И. (1906—1966). 130.
Пласе Франсуа. 56.
Платон (427—347). 101.
Плиний Младший (62 — ок. 114). 98.
Плиний Старший (24—79). 25, 99, 172.
Помутский. 82.
Протасов В. Р. 159.
Пушкин А. С. (1799—1837). 99.
- Райт Р. Х. 164.
Расс Т. С. 142.
Рейли. 179.
Рикитакэ Т. 74, 150, 151, 171.
Рихтер Ч. 23, 91.
Робертс Э. 83.
Росси М. 17.
- Саваренский Е. Ф. (1911—1980). 55, 180.
Садовский М. А. (р. 1904). 73, 75.
Саппера К. 119.
Сарьян Мартирос С. (1880—1972). 140.
- Семашко Н. А. (1874—1949). 84.
Симпсон Дэвид. 88.
Снайдер-Пеллигрини А. 56.
Спартак (ум. 71 до н. э.). 129.
Страбон (64/63 до н. э. — 23/24 н. э.). 53.
Сун Сун. 91.
Суэхиро Ясуо. 142, 156, 180.
- Тазиев Гарун (р. 1914 г.). 14, 51, 98, 118.
Тарада. 165.
Тацит (ок. 58 — ок. 117). 98.
Ториведи Хидеа. 174.
Трибути. 160.
- Уломов В. А. 83.
Уолтхэм Т. 74, 128.
Уоррен Мак-Каллок (1898—1969). 6.
Уретта Мариа Агирре. 62.
Ушаков С. А. 63.
Уэссон Б. 88.
- Фриш Карл. 172.
- Хаин В. Е. (р. 1914). 63.
Хатан. 158.
Хельмут. 160.
Холодов Ю. А. 181.
Храмов А. Н. 63.
- Церфас К. Э. 83.
- Чернявский Е. А. 83.
Чижевский А. Л. (1897—1964). 54.
- Шарн Д. 179. Шейдеггер А. Я. 79, 124, 126.
Шекспир Уильям (1564—1616). 91.
Шлюев Ю. 87.
Шовен Реми. 179.
- Эрзог А. 47.
Эсхил (ок. 525—456 до н. э.). 25.
Яншин А. Л. (р. 1911). 59.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болт Брюс. В глубинах Земли.— М., 1984.
2. Болт Брюс. Землетрясения.— М., 1981.
3. Зденек Кукал. Природные катастрофы.— М., 1985.
4. Литинецкий И. Б. Беседы о бионике.— М., 1968.
5. Литинецкий И. Б. Бионика.— М., 1976.
6. Мариковский П. И. Животные предсказывают землетрясения.— Алма-Ата, 1984.
7. Мархинин Е. К. Цепь Плутона.— М., 1973.
8. Рикитакэ Т. Предсказание землетрясений.— М., 1979.
9. Тазиев Гарун. Вулканы.— М., 1963.
10. Тазиев Гарун. Когда земля дрожит.— М., 1968.
11. Шейдеггер А. Е. Физические аспекты природных катастроф.— М., 1981.

СОДЕРЖАНИЕ

Вместо предисловия	5
Тревожный пульс Земли	13
География землетрясений	24
Угроза неотвратима	41
Природа землетрясений	52
Позывные стихии	71
Гнев «Везувиев»	95
Огненные цепи Плутона	106
Оракулы землетрясений и вулканических извержений	138
Тайны сейсмопредчувствия	155
Сейсмическая бионика	169
Словарь терминов	182
Указатель личных имен	188

Учебное издание

Литинецкий Изот Борисович

ПРЕДВЕСТНИКИ ПОДЗЕМНЫХ БУРЬ

Редактор Р. С. Берлянт
Редакторы карт Г. Д. Семенова, Н. В. Заболотная
Младший редактор М. В. Зарвинова
Художник Л. В. Иванов
Художественные иллюстрации В. Д. Овчининского
Цветные фотографии В. Е. Гиппенрейтора
Художественный редактор Е. А. Михайлова
Технический редактор Н. Н. Матвеева
Корректор Г. И. Мосякина

ИБ № 9936

Сдано в набор 25.08.87. Подписано к печати 27.07.88. Формат 70×90^{1/16}. Бумага офсетная № 1. Гарнитура школьная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,04+0,29 форз. Усл. кр.-отг. 53,86. Уч.-изд. л. 13,59+0,52 форз. Тираж 100 000 экз. Заказ 1612. Цена 1 р. 40 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Смоленский полиграфкомбинат Росглаволиграфпрома Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 214020, Смоленск, ул. Смольянинова, 1.