

И. А. РЕЗАНОВ

ВЕЛИКИЕ
КАТАСТРОФЫ
В ИСТОРИИ
ЗЕМЛИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Серия
«Человек и окружающая среда»

И. А. РЕЗАНОВ

**ВЕЛИКИЕ
КАТАСТРОФЫ
В ИСТОРИИ
ЗЕМЛИ**

Издание 2-е, переработанное, дополненное



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1980

Р 34 Резанов И. А. Великие катастрофы в истории Земли.— Изд. 2-е, перераб., доп. М.: Наука, 1980. 176 с., ил.— (Серия «Человек и окружающая среда»).

Эта книга — об известных современной науке и предполагаемых крупных катастрофах, в результате которых менялись очертания морей и континентов, рельеф и климат нашей планеты. Грозные события, происходившие в разные периоды истории Земли, возможно, оказали определенное влияние на ее геологическое развитие. Характеризуя причины возникновения катастроф, автор обращается к вопросам современной геологии, геофизики, метеорологии, биологии, истории. Настоящее издание переработано и дополнено новыми материалами.

19.4.4

Ответственный редактор

доктор географических наук

Э. М. МУРЗАЕВ

© Издательство «Наука», 1980 г.

Р $\frac{20800-009}{054(02)-80}$ 37-80 НП 1904010000

ПРЕДИСЛОВИЕ

Наша планета существует уже 4,5 млрд. лет. За этот огромный интервал времени на ее поверхности постоянно происходили сложные физико-химические процессы, возникла жизнь, сформировалась атмосфера, содержащая кислород, развились сложно организованные животные и растения. Все эти изменения происходили очень медленно, растягиваясь на сотни миллионов лет.

Но на фоне постепенных (эволюционных) процессов случались и явления катастрофического характера, вызванные силами, таившимися в глубинах Земли или действовавшими из космоса. Игнорировать сам факт существования и роль таких событий в истории Земли было бы в наше время величайшей ошибкой. Следы катастроф тем труднее установить, чем они древнее. С течением времени «залечиваются» раны на теле Земли, появившиеся в результате гигантских землетрясений, стираются следы упавших метеоритов. Поэтому большинство катастроф в истории Земли, в частности гибель Атлантиды, остаются гипотетическими. В настоящее издание автор счел целесообразным включить некоторые материалы об этом событии из его книги «Атлантида: фантазия или реальность?» (М., «Наука», 1975).

Изучение катастрофических явлений позволяет объяснить некоторые особенности эволюции нашей планеты. В настоящее время наука и техника достигли такого высокого уровня, что мы уже можем предугадывать многие природные катастрофы, а в скором времени несомненно научимся и предупреждать их.

Описывая наиболее впечатляющие события из жизни нашей планеты, мы познакомим читателя с геологической историей Земли, расскажем об увлекательной профессии геолога, геофизика и географа — специалистов, изучающих природные процессы и разрабатывающих методы их предсказания.

ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМЛИ

Согласно современной теории происхождения планет, разработанной академиком О. Ю. Шмидтом, Земля образовалась путем аккумуляции твердого рассеянного вещества в виде частиц и тел различных размеров. Постепенно мельчайшие частицы и метеориты различных размеров объединялись в более крупные тела — астероиды, которые затем падали на образующуюся Землю. Советский астроном В. С. Сафронов рассчитал возможные размеры и массы тел, падавших на Землю. Оказалось, что значительная часть нашей планеты образовалась за счет крупных тел.

Массы наибольших тел, падавших на Землю, были оценены по наблюдаемому сейчас наклону оси вращения Земли. Как известно, вращение планет состоит из двух компонент разной природы: регулярного прямого вращения, связанного с вращением всей системы, и нерегулярного, случайного, возникшего в результате падения на планету крупных тел. Последнее определяет наклон оси ее вращения. В. С. Сафронов показал, что при существующем сейчас угле наклона земной оси $23,5^\circ$ массы наибольших тел, падавших на Землю при ее образовании, достигали $1/1000$ массы Земли. Следовательно, поперечник их мог быть до 1000 км. Трудно вообразить масштабы катастрофы, если тело весом 1 000 000 000 млрд. т, падающее со скоростью 11 км/с, столкнется с Землей. Очень отдаленное представление о масштабе этого явления дают лунные кратеры и моря. Заметим, что лунные моря образовались в результате падения тел с поперечником всего несколько десятков километров, т. е. по массе в десятки тысяч раз меньше тех, которые падали на Землю. Выделившейся при ударе энергии достаточно, чтобы нагреть на сотни градусов слой толщиной больше поперечника упавшего тела. Следовательно, при диаметре астероида 1000 км глубина разогрева достигала 1000 км. В. С. Сафронов полагает, что заметная часть энергии падения больших тел оставалась внутри Земли и могла нагреть верхние ее слои более чем на 1000°C .

Случайные явления сыграли огромную роль в жизни нашей планеты. Будь у крупнейших астероидов, падавших на Землю, другие размеры, скорость или угол падения, наша планета имела бы иной наклон оси, а значит,

ширина тропического и умеренных поясов и полярных кругов была бы иной.

Формирование Земли как планеты, сопровождавшееся падением астероидов и метеоритов, продолжалось около 100 млн. лет. По сравнению с длительностью жизни человека срок этот огромен. Но если мы вспомним, что возраст Земли равен 4,5—5 млрд. лет, то получается, что образование ее из астероидов и метеоритов заняло лишь 2% времени от всей жизни нашей планеты.

Рой астероидов, окружавших Землю, за 100 млн. лет рассеялся. Падения метеоритов стали реже. Масса планеты достигла примерно тех размеров, какую она имеет сейчас. Первая фаза ее развития закончилась, наступила следующая, о которой мы знаем еще очень мало. По теории О. Ю. Шмидта, Земля образовалась в результате падения холодных частиц и метеоритов. Следовательно, в этот начальный период развития она не была раскаленной. Но вот новейшие результаты изучения Луны заставили усомниться в таком выводе. Исследование лунных пород показало, что в начальный период своего развития Луна прошла через состояние общего плавления. Если сравнительно небольшое по размерам небесное тело — Луна — было сильно разогрето 5—4 млрд. лет назад, то есть основания считать, что и планета Земля, которая значительно больше Луны по размерам и потому медленнее отдает тепло, также была разогретой. Это подтверждают исследования древнейших пород с возрастом 4—3 млрд. лет, обнажающихся на земной поверхности в Гренландии, Южной Сибири и в ряде других мест. И хотя они сильно изменены более поздними геологическими процессами, все же до некоторой степени удается восстановить их химический состав и условия образования. Оказывается, что первоначально это были вулканические породы, возникшие в результате излияния на земную поверхность базальтовых лав.

Сейчас все больше специалистов склоняются к мнению, что первоначально недра Земли были разогреты. На глубине нескольких десятков километров существовал слой, где породы были в расплавленном состоянии. Эти расплавы изливались на земную поверхность. Таким образом, стадия «бомбардировки» Земли сменилась более продолжительной по времени стадией почти сплошных вулканических излияний. В этот период жизни нашей плане-

ты, который длился, по-видимому, много сотен миллионов лет, ее поверхность была почти сплошь усеяна вулканами, извергавшими лаву. Излившаяся лава застывала, отдавая в мировое пространство тепло. Так образовалась первичная земная кора. Температура на поверхности Земли понижалась, и наступил момент, когда выделявшиеся из недр Земли водяные пары конденсировались в жидкую воду. С этого времени начинается геологическая стадия развития Земли.

Геологические процессы можно разделить на два типа. С одной стороны, это подземные вулканические и иные силы, приводящие к излиянию лав и подъему или опусканию земной коры; с другой — процессы разрушения, эрозия горных пород, перенос их водами и ветром по земной поверхности. Пока на Земле вода была только в парообразном состоянии, переноса горных пород практически не происходило. Вулканические горы еще не размывались, а пониженные места между вулканами не заполнялись осадками. С появлением на Земле жидкой воды впервые возникли осадочные породы, отлагавшиеся в неглубоких еще тогда морских водоемах. В результате поверхность планеты стала более ровной, поскольку высокие вулканы разрушались и постепенно исчезали с земной поверхности, если подземный очаг переставал работать. Хотя поверхность планеты уже остыла, на небольшой глубине земные породы были по-прежнему разогреты и потому достаточно пластичны. В этот период земная кора еще не трескалась и крупных разломов не существовало.

Следующая стадия эволюции коры начинается 3—2 млрд. лет назад. К этому времени земная кора уже остыла на всю глубину (20—40 км) и приобрела необходимую хрупкость. В местах максимальных напряжений земная кора стала трескаться. Возникли глубинные разломы. Вдоль них образовывались прогибы, где накапливались многокилометровые толщи осадков.

С изучения осадочных горных пород и началось формирование геологии как науки. Самым крупным достижением геологической мысли было создание геологической карты. В основу ее положен исторический принцип — одинаковым цветом на карте показаны породы одного геологического возраста. По сохранившимся в породах остаткам существовавших ранее животных и растений

история нашей планеты разделена на несколько эр: архейскую, протерозойскую, палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую. Последние три эры в свою очередь делятся на геологические периоды. Разработанные в XX в. методы определения абсолютного возраста горных пород по скорости радиоактивного распада показали, что длительность эр неодинакова (табл. 1).

Многообразная гамма цветов геологической карты рассказывает о сложной и богатой истории Земли. Обширные пространства европейской части СССР покрыты овалами,

полосами орашжевого, зеленого и коричневого цветов. По крупным рекам зеленые и синие полосы образуют острые петли, вытянутые против течения. Такой рисунок свойствен платформе. Геологи называют платформой область с двухъярусным строением: внизу — смятый в складки плотный фундамент, выше — полого лежащий рыхлый осадочный чехол. После образования фундамента движения на платформах были вялыми, малоинтенсивными. Они привели лишь к пологим изгибам его поверхности и осадочного чехла. В пределах платформ выделяют два вида структур — щиты и плиты. Первые вплоть до настоящего времени испытывали поднятия; в их пределах осадочный чехол отсутствует. На щитах длительно (до миллиарда лет) идет размыв кристаллических пород фундамента, благодаря чему на дневную поверхность выходят породы с возрастом 2—4 млрд. лет.

Плитами называются пространства платформ, фундамент которых перекрыт осадочным слоем. Крупные отрицательные структуры (прогибы) в пределах плит именуется синеклизами. По форме синеклизы напоминают пологое блюдце.

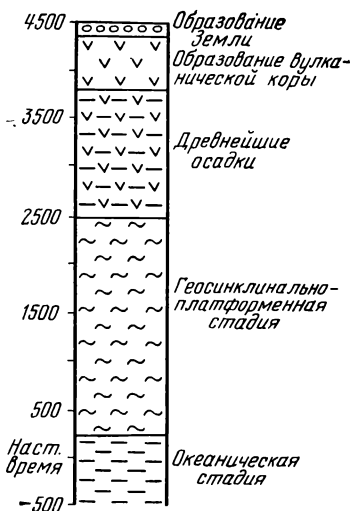


Рис. 1. Важнейшие стадии эволюции Земли

Таблица 1

Абсолютное время, млн. лет	Эра	Период	Эпоха	Органический мир	
				растительный	животный
25	Кайнозой	Четвертичный		Покрывосемянные	Млекопитающие
		Неогеновый	Плиоценовая Миоценовая		
50		Палеогеновый	Олигоцен- Эоценовая Палеоцено- вая		
75	Мезозой	Меловой	Поздняя	Голосемянные	Новые группы пресмыкающихся
100			Ранняя		
125		Юрский	Поздняя		
150			Средняя		
175			Ранняя		
200	Триасовый	Поздняя	Архаические группы пресмыкающихся		
225		Средняя Ранняя			
250	Палеозой	Пермский	Поздняя Ранняя	Группы хвощевых, плауновых, первичных папоротников и др.	Земноводные
275		Каменноугольный	Поздняя		
300			Средняя		
325		Ранняя			
350	Палеозой	Девонский	Поздняя	Псилофитовые	Рыбы
375			Средняя Ранняя		
400		Силурийский	Поздняя		
425			Ранняя		
450	Ордовичский	Поздняя Средняя Ранняя			
500	Кембрийский	Поздняя	Бактерии и водоросли	Беспозвоночные	
550		Средняя Ранняя			
2000	Протерозойская эра			Бактерии и водоросли	
4000	Архейская эра				

Второй класс структур земной коры — геосинклинали. Важнейшая отличительная их черта — много бóльшая контрастность движений по сравнению с платформами. На геологической карте геосинклинальные зоны выходят в виде протяженных узких полос разного цвета. Особенно наглядно видно это на примере Урала, который, как цветной шарф, пересекает с севера на юг нашу страну. Образованию геосинклинального пояса предшествовало заложение системы разломов большей протяженности (тысячи километров) и глубокого заложения. В результате поверхность земного шара оказалась состоящей из «обломков» древних платформ, разделенных геосинклинальными поясами (рис. 2). Наиболее протяженным является Тихоокеанский пояс, обрамляющий с востока, севера и запада впадину Тихого океана. Следующий по величине — Средиземноморский пояс. Он начинается в районе Гибралтарского прогиба и протягивается через Средиземное море, Кавказ, Памир и Гималаи в Зондский архипелаг, где сливается с Тихоокеанским поясом. В пределах нашей страны находится бóльшая часть Урало-Монгольского геосинклинального пояса. В него входят Урал, геосинклинальные структуры Казахстана, Тянь-Шаня, Алтая, Саян и большая часть Монголии. Этот пояс также стыкуется с Тихоокеанским. Кроме того, выделяют Атлантический и Арктический пояса, но они в значительной степени перекрыты океанами и на дневную поверхность выходят лишь их краевые части.

Между складчатыми поясами расположены платформы, которые обычно разделяются на две группы: северную и южную.

Северная именуется Лавразийской. В нее входят три платформы: Североамериканская, занимающая большую часть континента Северной Америки и Гренландии; Восточно-Европейская, которая включает почти всю Европу (ее также называют Русской платформой), Сибирская, протягивающаяся от Енисея на западе до Алдана и Лены на востоке.

Южная группа платформ именуется Гондванской. Геологи установили, что в конце палеозойской и в начале мезозойской эры все платформы южного полушария (Бразильская, Африканская, Индийская и Австралийская) развивались очень сходно — были близкие климатические условия, почти тождественные флора и фауна. Значит,

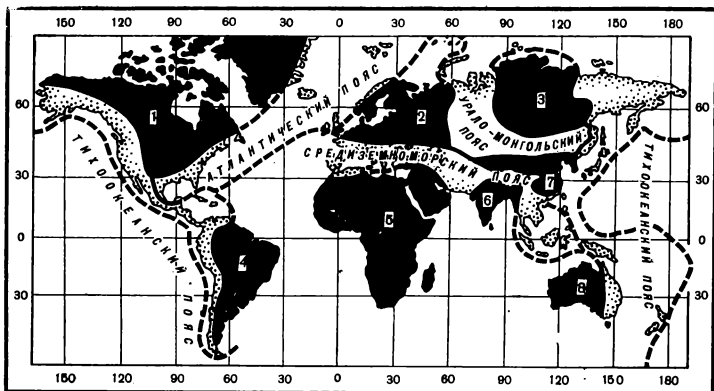


Рис. 2. Схема расположения древних платформ и складчатых поясов земной коры (по М. В. Муратову)

Платформы: 1 — Североамериканская; 2 — Восточно-Европейская (Русская); 3 — Сибирская; 4 — Южноамериканская (Бразильская); 5 — Африканская; 6 — Индийская; 7 — Китайская; 8 — Австралийская

300—200 млн. лет назад платформы южного полушария составляли единый гигантский материк — Гондвану.

Геологи и геофизики ведут жаркие споры о том, в результате каких причин материки оказались разобращенными океанами. Одни считают, что это произошло вследствие раздвигания в стороны единого пракоинтинента Гондваны; другие допускают, что части Гондваны были погружены, а затем залиты морем.

Как уже отмечалось выше, геосинклинальные пояса состоят из серии протяженных глубинных разломов. Вдоль таких глубинных разломов возникли геосинклинальные прогибы, в которых накопилось до 10—30 км осадков. Пространства между геосинклинальными прогибами оставались относительно инертными (их именуют срединными массивами).

Зоны глубинных разломов служили местами, где происходил обмен веществом между корой и более глубокими слоями Земли. Из ее недр в результате происходящего в них иплавления поступали на поверхность расплавленные лавы. Но в тех же приразломных зонах осуществлялся и обратный процесс — погружение осадков в глубь Земли. Благодаря чередованию эпох сжатия и растяжения дав-

ление в зоне разлома сильно колебалось. При падении давления материал коры погружался, а при последующем возрастании уплотнялся.

Геосинклинальные прогибы развивались в течение одного-двух геотектонических этапов длительностью по 180—200 млн. лет, после чего прогибание обычно прекращалось, сменяясь горообразованием и складчатостью. Наступил режим, близкий к платформенному. Через определенный промежуток времени могла заложиться новая система разломов или же частично ожить ранее существовавшая, и геосинклинальный режим возобновлялся.

Возникшие глубинные разломы с равным успехом пересекали как древние платформенные территории, так и пространства, ранее занятые геосинклиналиями. Геосинклинальный и платформенный режимы могли чередоваться во времени.

Хотя геологи обычно противопоставляют геосинклинали платформам, становится все очевиднее, что это лишь крайние члены последовательного ряда геологических структур. В пределах платформ обнаружены впадины, например Прикаспийская синеклиза на Восточно-Европейской платформе, где мощность осадков достигает 25 км, как и в геосинклинальных прогибах. С другой стороны, известны геосинклинальные прогибы, например Карпаты, где мощность не более 5—7 км, что часто встречается на платформе.

Но не следует и преуменьшать различие платформ и геосинклиналей. Последним свойственны не только большие мощности осадков и контрастное их изменение, но и сложная складчатость, а также интенсивный магматизм: излияние лав или внедрение крупных магматических тел — батолитов.

Магматические породы земной коры различаются по химизму и структуре. В зависимости от химического состава магматические породы разделяются на четыре группы: кислые, средние, основные, ультраосновные (табл. 2).

Кислыми именуется породы, в которых содержание SiO_2 достигает 70%. Типичный представитель кислой породы — гранит. В средних по составу магматических породах кремнекислоты меньше 65%, в основных — не более 50%. Наконец, на земной поверхности, правда редко, встречаются и ультраосновные породы, в которых процентное содержание SiO_2 не превышает 40—45%. Содер-

Таблица 2

Породы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂
Кислые										
глубинные (граниты); излившиеся на поверхность Земли (липариты, дациты)	70,8	0,4	14,6	1,6	1,8	0,9	2,0	3,5	4,1	—
Средние										
глубинные (диориты); излившиеся на поверхность Земли (андезиты)	60,6	0,9	17,5	1,2	6,1	2,0	4,0	4,0	2,7	—
Основные — базиты										
глубинные (габбро); излившиеся на поверхность (базальты)	50	1,4	16,0	5,4	6,5	6,3	9,1	3,2	1,5	—
Ультраосновные — гипербазиты										
глубинные (перидотиты, пироксениты, дуниты)	40,5	0,02	0,9	2,8	5,5	46,3	0,7	0,1	0,04	—
Средний состав осадочных пород складчатых областей	52	0,5	11,4	2,6	2,0	3,8	12,6	1,3	2,4	11,4

жание магния и железа изменяется в обратной последовательности. В ультраосновных их больше всего, а в кислых — всего лишь несколько процентов. Как кислые, так и основные породы могут различаться и по содержанию щелочных элементов (Na, K) и т. п.

Если магматические породы излились на земную поверхность и застыли в виде лав, то они плохо раскристаллизованы, минералы почти не видны. Такие породы называются эффузивными. Магматические породы, застывшие на глубине нескольких километров, именуются интрузивными. В зависимости от химического состава эффузивные породы разделяются на кислые (липариты), средние (андезиты) и основные (базальты). Разумеется, существует огромное число переходных разновидностей, для которых петрографы предложили специальные наименования.

Сравнительное изучение геологических структур с разной историей позволило установить, что развитие нашей планеты имело определенную периодичность. Длительные циклы преобладавшего погружения, сопровождавшегося накоплением осадков, сменялись более кратковременными периодами поднятий, складкообразования и размыва. Обнаружены циклы разных порядков. Наиболее крупными за последние 500—600 млн. лет геологической истории являются каледонский, герцинский и альпийский геотектонические этапы. Длительность каждого из них приблизительно 180 млн. лет. В последнее десятилетие выделен так называемый байкальский геотектонический этап, который предшествовал каледонскому, однако по длительности он равен или даже больше каледонского, герцинского и альпийского, вместе взятых. По-видимому, байкальский этап отвечает более крупному мегаэтапу высшего порядка. Геотектонические этапы не совпадают с эрами, выделенными на основании изучения истории органической жизни планеты.

После окончания геотектонического этапа, часто завершавшегося горообразованием, одни геосинклинальные зоны вновь вовлекались в прогибание, другие же длительное время оставались как бы законсервированными — становились платформами. Такие зоны получили название по времени последнего этапа прогибания. Геосинклинальные зоны, прекратившие прогибаться и смятые в складки к концу байкальского этапа, стали именоваться байкали-

дами, к концу каледонского — каледонидами — далее — герцинидами и альпидами.

Третья стадия развития Земли до некоторой степени продолжается и сейчас, что подтверждается различными типами тектонических движений на континентах. Однако, по-видимому, с палеозойской эры, т. е. примерно 0,5—0,3 млрд. лет назад, Земля вступила в четвертую стадию эволюции, которую с полным правом можно именовать океанической. Важнейшей особенностью этой стадии жизни нашей планеты является уничтожение мощной континентальной коры и превращение ее в тонкую (5—7 км), океаническую.

Главной особенностью процесса океанообразования является то, что, начавшись, вероятно, в пределах относительно узкой, может быть линейной, зоны, он затем постепенно расширялся, захватив к настоящему времени пространство, превышающее площадь материков.

Какие глубинные условия определяли начало процесса океанообразования, остается пока неясным. Несомненно лишь одно, что в основе этих процессов лежит разогревание Земли в результате радиоактивного распада.

Обширные глубоководные океанические равнины — это, очевидно, бывшие платформы. Недаром многие геологи по аналогии с континентами называют их талассократонами (опустившимися платформами). О сходстве океанических равнин с платформами материков свидетельствуют их огромные размеры, отсутствие в них каких-либо активных тектонических движений, например сейсмической деятельности.

Протяженные полосы мелководий и островов в океанах (подводный Гавайский хребет) — это, возможно, некогда существовавший геосинклинальный пояс. Не случайно именно к этим зонам приурочено большинство находок в океанах кислых пород (гранитов).

Океаническую стадию следует рассматривать как завершение гигантского мегацикла в истории Земли, длившегося 4—5 млрд. лет. В течение этого периода в коре близ ее поверхности накапливались такие элементы, как кремнезем, щелочи, кальций, создавался гранитный слой, выделялась вода. Некоторое количество воды достигло земной поверхности, но большую ее часть, как губка, впитал в себя верхний слой мантии. Возник мощный слой обводненных ультраосновных пород. В океаническую ста-

дию жизни Земли вода, наконец, была «выжата» на поверхность Земли. Может быть, впервые за всю многомиллиардную жизнь коры слагающие ее химические элементы расположились в закономерной последовательности: сверху самые легкие, ниже тяжелые и плотные — вода, под ней кремнезем, еще ниже алюмосиликаты и внизу силикаты с высоким содержанием магния и железа.

На рис. 1 показана относительная длительность каждой из названных стадий эволюции нашей планеты. Наиболее продолжительная — геосинклиальная.

В дальнейшей геологической эволюции нашей планеты, по-видимому, будет продолжаться рост океанов за счет континентов. Значит, материки со временем окажутся почти полностью поглощенными Мировым океаном? А где же тогда будут жить люди? Однако столь мрачная перспектива не должна нас пугать. Процесс поглощения континентов океанами идет крайне медленно даже для геологического летосчисления. Для полного уничтожения континентов потребуются еще сотни миллионов лет.

МЕТЕОРИТНЫЕ КРАТЕРЫ

Некоторое представление о древних космических катастрофах дает обследование наиболее крупных метеоритных кратеров, сохранившихся до наших дней.

Следами падения крупных метеоритов на земной поверхности являются необычные кольцевые геологические структуры, получившие название «астроблемы» — звездные раны. Внутри астроблем наблюдаются радиальная деформация пластов раздробленных пород, необычные минералы и другие признаки, свидетельствующие о мощном ударном взрыве. Сейчас на Земле обнаружено более 100 таких кольцевых структур — мест падения гипотетических гигантских метеоритов. Но следует заметить, что кольцевые структуры во многом сходны с нарушениями земной поверхности, возникающими после некоторых вулканических извержений, — вулканическими кальдерами.

Поэтому вопрос о том, является ли данная кольцевая геологическая структура результатом падения метеорита или вулканического извержения, в каждом отдельном случае специально изучается. Происхождение некоторых

из них остается дискуссионным на протяжении многих десятков лет. Причем сомнительны наиболее крупные кольца, которые образовались десятки и сотни миллионов лет назад. Так, существует предположение, что залив Св. Лаврентия в Канаде — часть гигантского ударного кратера диаметром около 290 км и глубиной порядка 6 км.

Метеоритные кратеры подразделяются на два типа.

Первый тип — **ударные** кратеры диаметром не более 100 м. Они образуются при частичном дроблении и выбрасывании горных пород и возникли вследствие падения относительно небольших метеоритов, летевших со скоростью не более 2,5 км/с.

Второй тип — **взрывные** кратеры, возникающие при взрыве метеорита в момент его соударения с земной поверхностью. Крупный метеорит, подлетающий к Земле со скоростью 3—20 км/с, при столкновении с ней взрывается в результате торможения о горные породы. Вещество его полностью или почти полностью испаряется при взрыве. Взрывные кратеры бывают заполнены раздробленной породой, которая нередко оплавлена. В некоторых наиболее крупных кратерах обнаружены своеобразные породы, получившие название импактивов. Они почти целиком состоят из переплавленных пород, застывших в виде стекла. В небольшом количестве содержатся в них и обломки нерасплавленных пород.

Горные породы, подвергшиеся метеоритному взрыву, разбиваются коническими трещинами. Вершины трещин конусов разрушения указывают направление, откуда пришла ударная волна. Импакиты и конусы разрушения являются доказательством метеоритного происхождения древнего кратера.

Расскажем о некоторых наиболее крупных космических катастрофах на нашей планете.

Самый крупный из достоверных метеоритных кратеров — Попигайская котловина. Она расположена на севере Сибирской платформы, в бассейне реки Хатанги, в долине ее правого притока реки Попигай. Размеры внутреннего кратера составляют 75 км, а диаметр внешнего достигает 100 км. Катастрофа произошла 30 млн. лет назад. Космическое тело с большой скоростью пробило толщу осадков в 1200 м и затормозилось в породах фундамента Сибирской платформы (рис. 3). По предварительным оценкам, энергия взрыва достигала 10^{23} Дж, т. е. была

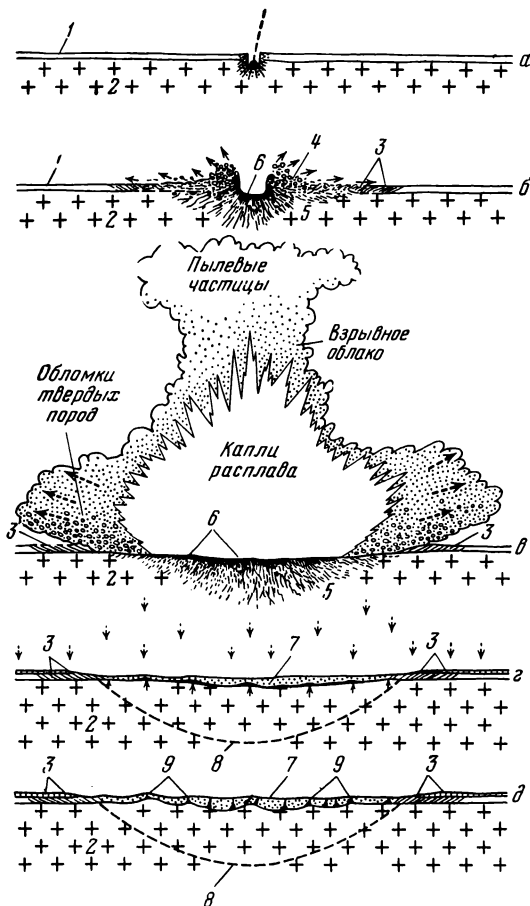


Рис. 3. Схема образования Попигайского метеоритного кратера и его предполагаемое строение (по В. Л. Масайтису)

а — столкновение метеорита с поверхностью Земли и торможение; *б* — испарение метеорита и плавление окружающих пород; *в* — разогрев газов, выброс раздробленных и частично расплавленных пород; *г* — падение материалов выброса в кратер и за его пределы; *д* — подъем оснований кратера и выдавливание части расплава к поверхности. 1 — осадочные породы; 2 — фундамент; 3 — надвиги; 4 — раздробленные породы в начальной стадии выброса; 5 — трещины; 6 — расплавленные породы; 7 — раздробленные породы, заполняющие кратер; 8 — предполагаемая граница зоны трещиноватых пород фундамента; 9 — выжатый к поверхности расплав (импактиты). (Вертикальный и горизонтальный масштабы примерно одинаковы)

в 1000 раз больше, чем при самом сильном вулканическом взрыве. Об условиях, существовавших в эпицентре в момент взрыва, можно судить по тому, что в кратере найдены возникшие при катастрофе минералы.

Такие минералы удалось получить искусственным путем при ударных давлениях в 1 млн. бар и температуре около 1000° С. Выброшенные во время взрыва крупные глыбы кристаллических пород фундамента платформы разлетелись на расстояние до 40 км от края кратера. Космический взрыв вызвал расплавление горных пород, в результате чего образовалась лава с высоким содержанием кремнезема (65%), резко отличная по составу от глубинных базальтовых излияний Сибирской платформы.

Второй по величине метеоритный кратер расположен вблизи города Горького. С помощью геологической съемки и буровых работ была обнаружена Пучеж-Катунская впадина диаметром около 100 км, вероятно вызванная падением метеорита.

Диаметр около 50 км имеет Карский кратер на хребте Пай-Хой. Он заполнен образовавшимися при взрыве обломками пород, частично переплавленными и застывшими в виде стекловидной массы.

В 1920 г. известный финский ученый-геолог П. Эскола обследовал северную часть Ладожского озера. Он обратил внимание на необычную лаву около озера Янисъярви, которая по составу очень напоминала импакиты взрывных кратеров. Озеро Янисъярви, расположенное в 95 км от города Сортавалы, имеет размер 14×26 км и, вероятно, является древним метеоритным кратером. В пользу этого свидетельствуют также два скалистых лавовых островка в центре озера.

На Украине обнаружен Болтышский кратер (диаметром около 25 км), возникший в результате падения метеорита более 100 млн. лет назад. Самый древний метеоритный кратер (диаметр 20 км) в нашей стране находится в Карелии, его возраст более 1 млрд. лет.

В Винницкой обл., около села Ильинцы, недавно обнаружен метеоритный кратер диаметром в 4 км. Он образовался около 100 млн. лет назад. Кратеры диаметром 3—5 км обнаружены к востоку от города Винницы и к юго-востоку от Гдова.

В районе Калуги погребен взрывной кратер с возрастом 250 млн. лет. Поперечник его достигает 15 км.

За рубежом хорошо исследован крупный метеоритный кратер Риз, внутри которого расположен город Нордлинген (ФРГ). Кратер образовался в результате удара и взрыва гигантского метеорита около 15 млн. лет назад. Возникшая котловина достигает в поперечнике 20 км. Сейсморазведочные работы, проведенные в котловине, показали, что под 35-метровым слоем озерных осадков скрыта внутренняя подземная котловина. Ее глубина не менее 700 м, а поперечник около 10 км. Кратер заполнен раздробленной, спекшейся и частично расплавленной породой. Разрыхленная порода, заполняющая кратер, обуславливает некоторое понижение поля силы тяжести по сравнению с окружающей местностью. Такое уменьшение соответствует дефициту массы в кратере 30—60 млрд. т. Следовательно, в момент взрыва было выброшено до 20 км³ породы.

Во Франции метеоритный кратер Рошешуар (диаметр около 15 км) образовался 150—170 млн. лет назад.

К «молодым» кратерам — возраст до 15 млн. лет — относятся Босумтви в Гане (Западная Африка), в котором расположено озеро (диаметр 9,8 км, глубина 350 м), и Чабб на полуострове Унгава в Канаде (диаметр 3,4 км, глубина 390 м). Метеоритный кратер Ротер Камм, обнаруженный в 1965 г. в Юго-Западной Африке, в 95 км от устья реки Оранжевой, достигает 30 м. Дно кратера засыпано, следовательно, общая глубина его еще больше. Поперечные размеры кальцевого вала, сложенного обломками гнейсов, около 2,4 км, высота над окружающей местностью 90 м. Кратер Локар в Индии имеет поперечник 1,8 км, а глубину 120 м.

В конце прошлого столетия в США были начаты исследования кратера диаметром 1,2 км и глубиной около 170 м. Вал, окаймляющий кратер, возвышается на 40—50 м (рис. 4). Это — так называемый Каньон-Дьябло в штате Аризона. Согласно легенде местных индейцев, он образовался в месте, куда в далеком прошлом с неба спустился на огненной колеснице бог. Это наталкивало на мысль о метеоритном происхождении кратера. В радиусе около 10 км были обнаружены многочисленные, весом около 20 т обломки железного метеорита, но, очевидно, они представляют собой лишь ничтожную часть упавшего гигантского метеорита. Попытки найти внутри кратера основную массу метеорита успехами не увенчались;



Рис. 4. Аэрофотоснимок метеоритного кратера Каньон-Дьябло (штат Аризона, США).

вероятно, он образован железоникелевым метеоритом весом примерно 5 млн. т. Воронка возникла от обломка весом 63 тыс. т и диаметром 30 м; энергия, освобожденная при его ударе, сопоставима с энергией взрыва 3,5 млн. т тротила.

Группа кольцевых структур метеоритного происхождения известна на острове Сааремаа (Эзель) в Балтийском море. Углубление имеет здесь диаметр 110 м, оно обрамлено валом, образованным из приподнятых пластов доломита высотой 6—7 м. Еще шесть округлых впадин расположено в окрестностях главного кратера на площади 0,25 км². Их размеры: диаметр 16—20 м, глубина до 4—5 м.

Удивительное кольцо Вредефорт найдено в Южной Африке. Оно образовано куполом гранитов диаметром около 40 км. Купол окружен венцом древних осадочных пород шириной около 16 км. Можно оценить размеры и скорость падения астероида, вызвавшего образование этого кольца. При скорости 20 км/с он должен иметь диаметр 2,3 км и массу $3 \cdot 10^{10}$ т. Энергия его падения примерно в 50 раз превосходила энергию крупнейших зем-

летрясений и соответствовала взрыву бомбы с зарядом $1,4 \cdot 10^6$ млн. т.

В Австралии находится одна из астроблем — Госсес Блафф. Она представляет собой небольшой холм, окруженный кольцом раздробленных пород, диаметром около 14 км. Возраст 130 млн. лет. В районе Госсес Блафф для исследования строения земной коры проводилась сейсмическая разведка и бурение скважин, было произведено несколько взрывов. Это позволило установить подземный рельеф кратера. На глубине расположена полусферическая чаша радиусом 2,3 км, окруженная более мелкой блюдцеобразной депрессией радиусом около 11 км. Найдены конусы сотрясения, импакиты; энергия ударного процесса составила 10^{20} Дж.

В Южном Техасе (США), в бассейне Сиерра-Мадре, в горных породах, образовавшихся из древних морских отложений, известен вал в виде кольца диаметром около 10 км. В котловине внутри вала слои горных пород залегают почти горизонтально и лишь в центре их прорывает купол, сложенный известняками и возвышающийся на 450 м. Пласты здесь сильно разрушены, а в известняке обнаружены конические системы трещин, вызванные мощной ударной волной. Американский геолог А. Келли считает, что в данном случае астроблема образовалась в результате падения кометы в древний океан, имевший здесь глубину 2—3 км. Ядро кометы с космической скоростью ударило в кору, и произошел гигантский взрыв. Ударная волна, пройдя через воду, ослабла и смогла вызвать катастрофические разрушения дна лишь в эпицентре. Одновременно в океане образовалась огромная водяная воронка: взрыв на какое-то мгновение раздвинул толщу воды. Вода увлекла за собой донные осадки, отложив их в виде кольцевого вала. Освобожденное от гидростатического давления морское дно вспучилось в эпицентре и поднялось. При оседании водяной воронки вода принесла назад взмученный материал, который образовал слои новых осадков, сгладившие рельеф подводного кратера. Через много десятков миллионов лет кратер поднялся на поверхность, где затем разрушился.

В Антарктиде, на Земле Уилкса, найдена скрытая подо льдами гигантская астроблема, имеющая около 240 км в диаметре. Интересна история открытия этого кратера. В 1958—1960 гг. во время работ французской и амери-

канской экспедиций здесь были установлены некоторые аномалии силы тяжести. Загадка их разрешилась при сопоставлении данных обеих экспедиций. Район отрицательной аномалии силы тяжести имеет форму круга диаметром 240 км, а сама аномалия очень похожа на те, которые наблюдаются вблизи больших метеоритных кратеров. Удалось установить, что аномалия частично вызвана существованием впадины внутри кратера, а частично — разрыхленными при падении метеорита породами.

Открытие этого кратера имело большое значение для гипотезы об образовании тектитов — загадочных по своему происхождению обломков темно-зеленых стекловатых камней. Одни исследователи считают их особым классом метеоритов, другие — продуктом вулканических извержений на Луне. Американский ученый В. Бернс полагает, что тектиты возникают из горных пород, расплавленных при ударе крупных метеоритов и с чудовищной силой выплеснутых из кратера. Слабым местом этой гипотезы было отсутствие молодых метеоритных кратеров в Австралии и Тасмании, где тектиты широко распространены. Кратер, обнаруженный в Антарктиде, оказался как раз в центре Австрало-Тасманийской дуги, изобилующей тектитами. Тем самым гипотеза В. Бернса получила новое подтверждение.

Ряд крупных кратеров метеоритного происхождения найден в последнее время в Канаде. К ним относятся, в частности, кратеры двойного озера Клируотер. Оба озера, по-видимому, образовались от ударов двух метеоритов. Диаметр Восточного Клируотера — около 28 км, Западного — около 32 км. Самой крупной кольцевой структурой предположительно метеоритного происхождения является здесь кольцо Маникуаган-Мушалаган, имеющее диаметр около 65 км.

С падением метеорита связывают крупнейшее месторождение никеля Садбери, расположенное в Канаде.

Рудный бассейн Садбери имеет овальную форму размером 60×27 км. Он располагается на поверхности Канадского кристаллического щита, который сложен гнистами и кварцитами. Строение бассейна напоминает слоеный пирог: внизу залегают рудоносные породы — микропегматиты, диориты и др., над ними — туф опанинг, перекрытый слоями шиферных сланцев и песчаников. Недавно была выдвинута гипотеза о том, что бассейн Сад-

бери появился в результате падения гигантского метеорита 1700 млн. лет назад (возраст определен методами абсолютной геохронологии). К этой гипотезе привели попытки расшифровать происхождение туфа опанинг. По строению он представляет собой брекчию — раздробленную и вновь сцементированную породу. Обломки брекчии состоят из коренных гранитов, а также стекла — расплавленных и быстро остывших, не успевших раскристаллизоваться минералов. По этим признакам опанинг очень напоминает материал из известных метеоритных кратеров. Сходство это недавно было подтверждено находкой в Садбери кристаллов кварца, обладающих своеобразной ориентировкой трещин, которые возникают в кварце только под воздействием ударных волн, создающих чрезвычайно высокие давления, при ядерных взрывах или при падении гигантских метеоритов. Очевидно, удар гигантского метеорита вызвал активную вулканическую деятельность, в результате поднялись глубинные расплавленные массы, содержавшие большое количество металлов.

Имеются данные о том, что в прошлом в некоторых случаях метеоритные дожди достигали чрезвычайно высокой плотности и захватывали огромные площади. Их выпадение могло приобретать характер страшного стихийного бедствия.

Так, в Северной Америке, в районе полуострова Флорида, на побережье Атлантического океана произошло падение, по-видимому, одного из наиболее крупных астероидов. В штатах Северная и Южная Каролина была проведена аэрофотосъемка, обнаружившая ряд круглых и яйцеобразных воронок, напоминающих по виду кратеры метеоритного происхождения. Крупных кратеров — около 140 тыс., в том числе около 100 диаметром более 1,5 км. Невозможно установить число мелких. Предполагают, что их более полумиллиона. Площадь, подвергшаяся камнепаду, достигала 200 тыс. км². Кратеры расположены дугой, в центре которой в настоящее время находится приморский город Чарлстон. Большая часть обломков астероида обрушилась в Атлантический океан.

По мнению Милтона и Шривера, эти кратеры образовались в результате падения метеоритов, скорее всего кометного происхождения, врезавшихся в Землю под небольшим углом к горизонту, в юго-восточном направле-

нии. Некоторые из метеоритов были двойные (тандем-метеориты), а их падение имело взрывной характер. Согласно другим предположениям, от перегрева взорвался в атмосфере крупный астероид (диаметр около 10 км, масса — 1000—2000 млрд. т). Его осколки разбросаны в радиусе более 1000 км.

Загадочные тектиты — стекловидные камни космического происхождения, детально изученные советским ученым Г. Г. Воробьевым, также выпадали на огромные территории в виде дождей большой плотности. В Европе районом распространения тектитов является Чехословакия: на площади около 10 тыс. км² было найдено несколько десятков тысяч тектитов. Дождь, состоявший из тектитов, выпал здесь примерно 20 млн. лет назад и охватил территорию, близкую по форме к эллипсу. Правда, Г. Г. Воробьев считает, что дождь этот был не очень густым и расстояние между отдельными тектитами в некоторых случаях достигало многих десятков метров. В дальнейшем в результате деятельности поверхностных вод и тектонических движений произошло перераспределение тектитов и накопление их во впадинах рельефа земной поверхности.

В ряду других крупных космических явлений совершившееся на глазах человека падение Тунгусского метеорита занимает несколько особое место. Сумма всех данных позволяет утверждать, что события 1908 г. вызваны падением небольшой кометы. Она вошла в земную атмосферу утром, двигаясь с востока, т. е. навстречу Земле. На высоте 5—10 км над Землей произошел взрыв колоссальной силы, соответствующий взрыву не менее 3 млн. т тротила, т. е. в 100 раз более сильный, чем атомный взрыв в Нагасаки и Хиросиме. Согласно расчетам, скорость, с которой влетела Тунгусская комета в атмосферу Земли, была от 30 до 40 км/с. К моменту взрыва она снизилась до 16—20 км/с, а масса взорвавшегося тела составила несколько десятков тысяч тонн (остальное испарилось до взрыва). Температура на фронте головной, ударной волны достигала 100 000° С, т. е. в десятки раз превышала температуру поверхности Солнца.

После взрыва образовалась широкая зона поваленных деревьев, форма которой (в виде бабочки) хорошо совпадает с зоной разрушения от баллистической волны (рис. 5), рассчитанной теоретически В. П. Коробейниковым и др.

Горелый лес и слабые ожоги, полученные немногими очевидцами, находившимися на расстоянии сотен километров от эпицентра, дают некоторое представление о термическом эффекте взрыва.

На месте катастрофы найдены лишь многочисленные мельчайшие шарики размером в десятки микрон. Они представляют собой застывшие капельки расплавленного металла или силиката, входивших в состав твердых включений в ядре кометы. Никаких следов повышенной радиоактивности в районе падения метеорита не обнаружено. Спустя несколько дней после катастрофы наблюдалось необычное свечение неба, распространившееся полосой от места падения метеорита до Британских островов. Это было вызвано попаданием в слои атмосферы веществ хвоста кометы. Резкое снижение прозрачности атмосферы, зарегистрированное двумя неделями позже, вероятно всего, объясняется пылью, выброшенной в верхние слои атмосферы после взрыва.

По своим масштабам тунгусская катастрофа стоит в одном ряду с такими крупнейшими, известными или предполагаемыми, катастрофами, как взрыв и проседание кальдеры вулкана Кракатау, извержение Санторина, связываемое с гибелью Атлантиды, или с такими землетрясениями, как Чилийское или Гоби-Алтайское. Площадь вывороченного леса составляла 20 тыс. км² (это более чем в 20 раз больше площади Москвы, ограниченной автомобильной дорогой). К счастью, взрыв произошел в совершенно безлюдной местности. Однако если бы эта небольшая комета взорвалась над густонаселенным районом, то размеры катастрофы и число жертв трудно вообразить.

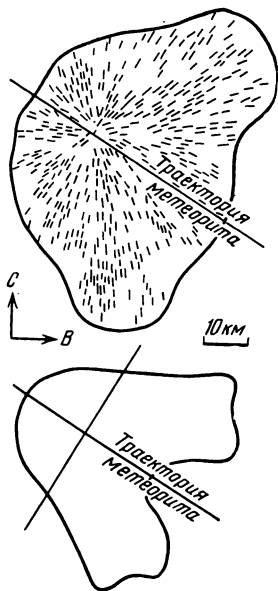


Рис. 5. Площадь поваленных деревьев после тунгусской катастрофы 1908 г. и расчетная кривая воздушных волн

КОСМОС И ЖИЗНЬ

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ И КАТАСТРОФЫ

Согласно наиболее разработанной в наше время гипотезе академика А. И. Опарина, выдвинутой впервые в 1924 г., жизнь возникла в определенный момент эволюции Земли как планеты. В тот период в насыщенной водяными парами атмосфере находились кислородные производные углеводородов, аммиак, циан и другие первичные органические соединения, обладающие высокой химической энергией и способные к дальнейшим превращениям. Их появление было возможно лишь при очень высоких температурах. По мере охлаждения Земли температура ее верхних слоев понизилась до 100° . С этого момента на земную поверхность устремились горячие ливни, образовавшие первородный кипящий океан. Вместе с водой упали на Землю и первичные органические вещества. В океане продолжался процесс взаимного присоединения этих веществ, приводивший к появлению все более крупных и сложных частиц. В результате, после того как подобные превращения длились многие тысячи лет, в первичной водной оболочке Земли возникли коллоидные растворы, из которых образовались сгустки студенистых кусков органических веществ, свободно плававших по поверхности океана. Эти сгустки геля в какой-то степени представляли собой первичные организмы (сложная структура, способность к поглощению веществ из внешней среды).

В результате последовавшей затем длительной и сложной эволюции, обусловившей совершенствование физико-химической структуры гелей, из них образовались уже настоящие первичные организмы со всеми присущими им функциями.

Гипотеза академика А. И. Опарина, как и большинство других, предполагает длительное эволюционное развитие органического вещества, прежде чем оно приобрело особенности живой материи. Но могла ли появиться жизнь в одно мгновение?

Существует гипотеза, ныне мало упоминаемая, которая связывает возникновение жизни на Земле с гигантской катастрофой — грандиозным столкновением сил космоса

с силами Земли. Такое столкновение, блестяще иллюстрируя законы диалектического развития природы через борьбу противоположностей, прервало безжизненную эволюцию земной коры и внесло в нее те элементы и противоречия, которые, может быть, только и могли породить жизнь. Гипотеза эта принадлежит одному из величайших ученых современности — Владимиру Ивановичу Вернадскому.

Он считал, что наука способна определить условия, при которых зарождение жизни представляется единственно возможным. Любая жизнь является неразрывной частью живого вещества, составляющего особую часть нашей планеты — биосферу. Любой организм существует, только взаимодействуя с ней.

Говоря о развитии биосферы, необходимо учитывать принцип Реди, установленный еще в XVII в., — «*Omne vivum ex vivo*» (все живое происходит от живого). В. И. Вернадский отмечает, что этот принцип не имеет абсолютного значения. Это лишь эмпирическое обобщение, основанное на нашем знании современных физико-химических условий. Когда-то в прошлом (а возможно, и в будущем) при наличии физико-химических явлений, не учитывающихся в настоящее время, принцип Реди мог быть нарушен. Вернадский проводит аналогию между принципом Реди и законом постоянства вещества, который гласит: вещество постоянно в своей массе, не исчезает и не возникает вновь в пределах физико-химических явлений, нам известных. Это реальное эмпирическое обобщение непрерывно проверялось опытным путем. Закон остался незабываемым и после открытия радиоактивности в рамках обычных химических и геохимических процессов. Так и принцип Реди не указывает на невозможность самопроизвольного возникновения жизни (абиогенеза), он только определяет область и условия, в пределах которых абиогенеза нет. Самопроизвольного возникновения жизни — согласно принципу Реди — в биосфере нет и не было за время, когда жизнь уже существовала, раз возникнув.

По мнению Вернадского, в биосфере можно различать два типа составляющего ее вещества: косное и живое. Косное вещество, состоящее из минералов, остается по химическому составу и физическому состоянию неизменным за все время существования земной коры. «Нет новых минералов, появившихся в земной коре в течение

геологического времени, если не считать ими созданий человеческой техники» *. Иное дело — живое вещество, в целом и в отдельных формах постоянно меняющееся в эволюционном процессе. За редким исключением все виды живого претерпели большие изменения со времени своего возникновения. «Живой мир биосферы палеозоя (550—230 млн. лет назад) и живой мир биосферы нашего времени резко различны, мир косной материи один и тот же». Таким образом, «говоря о появлении на нашей планете жизни, мы в действительности говорим только об образовании на ней биосферы» (с. 644).

Но сохранение в неизменном виде косной части биосферы — минералов может быть только в том случае, если связанная с ней теснейшим образом живая часть биосферы остается в каких-то своих особенностях постоянной.

Какие же это особенности? По-видимому, те, которые могут влиять на образование минералов: средний химический состав биосферы, средняя масса живой части биосферы. Живая часть биосферы неизменно должна была составлять определенную долю массы всей биосферы. Только при этом условии не нарушается постоянство химических процессов того грандиозного явления, называемого корой выветривания, в котором выражается химическое действие жизни. Следовательно, с момента образования биосферы жизнь уже должна была состоять из многих различных форм, имеющих разнообразные геохимические функции, создающие кору выветривания. «Функции жизни в биосфере — биохимические функции — неизменны в течение геологического времени, и ни одна из них не появилась вновь в ходе геологического времени. Они непрерывно существуют одновременно» (с. 645).

Далее Вернадский перечисляет функции биосферы, осуществляемые живым веществом. 1. Газовая функция, в результате которой все газы биосферы теснейшим образом связаны с жизнью. Они создаются биогенным путем и им же уничтожаются ($N_2-O_2-CO_2-CH_4-H_2-NH_3-H_2S$). 2. Кислородная функция — образование свободного кислорода (из CO_2 и H_2O и т. п.). 3. Окислительная функция — окисление более бедных кислородом

* Вернадский В. И. Об условиях возникновения жизни на Земле.— Изв. АН СССР, 1931, № 5, с. 643 (далее цитир. указ. ст.).

соединений, происходящее в биосфере. 4. Кальциевая функция — выделение кальция в виде чистых солей (простых и сложных), углекислых, щавелевокислых, фосфорнокислых. 5. Восстановительные функции — создание из сульфатов соединений типа H_2S , FeS_2 . 6. Концентрационная функция, определяющая переход некоторых элементов из обычного для них рассеянного состояния в скопления под действием живых организмов, что известно для таких элементов, как углерод, кальций, азот, железо, марганец и др. 7. Функция сгорания органических соединений (разложение организмов после смерти с выделением H_2O , CO_2 и N_2). 8. Функция восстановительного разложения органических соединений, дающая H_2S , CH_4 , H_2 . 9. Функция метаболизма и дыхания организмов, связанная с поглощением O_2 и H_2O , выделением CO_2 и миграцией органических соединений.

Перечисленные функции биосферы могут осуществляться бактериями, водорослями, мхами, простейшими одноклеточными организмами. Важно отметить, что нет организма, который один мог бы исполнять все эти геохимические функции, исключено также, чтобы в ходе геологического времени происходила смена организмов, замещавших друг друга в исполнении какой-либо одной биогеохимической функции, без изменения ее самой. «Лишь со времени выступления в биосфере цивилизованного человечества один организм оказался способным одновременно вызывать разнообразные химические процессы, но он достигает этого разумом и техникой, а не физиологической работой своего организма», — отмечает В. И. Вернадский (с. 647). При появлении на Земле жизни должна была возникнуть сразу вся совокупность одноклеточных организмов, выполняющих разные биогеохимические функции. Или же жизнь, начавшись с одной простейшей формы, так быстро раздробилась на формы, имеющие разные геохимические функции, что этот период при всем своем геохимическом своеобразии не оставил никаких следов в земной коре. Приведенные выше суждения о начале биосферы исключают абиогенез, занос из космоса морфологически единого организма или появление одной какой-либо водоросли, бактерии, из которых эволюционным путем зародились миллионы видов растений и животных. По мнению ученого, должен был одновременно появиться сложный комплекс живых форм,

развернувшийся затем в современную живую природу.

В. И. Вернадский подчеркивает, что все живое вещество обладает «диссимметрией» — свойством, благодаря которому во всех связанных с жизнью проявлениях существуют только оси простой симметрии, но эти оси необычны, ибо отсутствует равенство правых и левых сторон.

Этой особенностью живое вещество отличается от вещества кристаллического с осями простой симметрии. В живом веществе преобладает лишь одна сторона — правая или левая. Впервые это явление было изучено Л. Пастером. Как в строении вещества, так и в физиологических проявлениях живые организмы обладают резко выраженной диссимметрией с преобладанием правых явлений. Правый характер диссимметрии живых организмов выражается рядом явлений, начиная с правого вращения плоскости поляризации при прохождении луча света через биологические препараты и кончая усваиванием организмами правых антиподов кристаллических веществ и инертным отношением организмов к левым антиподам и т. д.

Однако имеются данные о существовании не только правых, но и левых форм жизни. Так, например, среди раковин моллюсков с правой диссимметрией известны, хотя и чрезвычайно редки, левые формы.

Дальнейшим шагом в развитии эмпирического обобщения Л. Пастера явился принцип, установленный П. Кюри: «диссимметрия может возникнуть только под влиянием причины, обладающей такой же диссимметрией» (с. 639). Еще до принципа Кюри Пастер пришел к выводу, что абигенез мог произойти только в диссимметричной правой среде. Он считал, что именно в этом направлении надо вести опыты по синтезу живых организмов из неорганических соединений.

Таким образом, живое вещество биосферы глубоко отличается от веществ других геосфер. Лишь живое вещество диссимметрично и может образоваться только путем размножения из такого же диссимметричного вещества. Поскольку все неорганические процессы и образования на Земле обладают обычной симметрией, диссимметричные процессы, послужившие причиной появления жизни, следует искать вне Земли (достаточно напомнить хотя бы о спиральной форме туманностей).

Итак, согласно гипотезе В. И. Вернадского, жизнь на Земле могла зародиться лишь при соблюдении следующих основных условий.

1. При образовании биосферы на земной коре происходили физико-химические явления и процессы, которые сейчас в ней отсутствуют, но которые были необходимы для самопроизвольного возникновения жизни. Однако к ним не могут относиться обычные физические, химические и геохимические процессы.

2. Жизнь не могла возникнуть и длительно существовать как один какой-либо вид организмов, из которого в дальнейшем обычным эволюционным путем появились все остальные. Имеющиеся данные о постоянстве биогеохимических функций живого вещества в биосфере заставляют предполагать одновременное или почти одновременное образование группы простейших одноклеточных организмов. Эти простейшие организмы могли выполнять различные биогеохимические функции и сформировали биосферу. Из них впоследствии путем эволюции возникли все остальные организмы, существовавшие в дальнейшем только в пределах биосферы.

3. В соответствии с выводами, сделанными Пастером, и принципом Кюри этот необычный процесс, не укладывающийся в рамки обычных физико-химических явлений, должен обладать правой диссимметрией.

Какое же уникальное явление в истории Земли удовлетворяло бы всем поставленным условиям и служило бы причиной зарождения жизни на земной поверхности? По мнению В. И. Вернадского, им могла быть грандиозная космическая катастрофа, например отделение Луны от Земли и возникновение впадины Тихого океана. Вернадский указывает, что в результате этого земная кора приобрела своеобразную диссимметрию.

Сейчас известно, что Луна образовалась не путем отрыва ее от Земли. Но значит ли это, что в истории нашей планеты гигантские катастрофы отсутствовали? Выше мы писали, что согласно теории происхождения планет, разработанной О. Ю. Шмидтом, Земля образовалась путем аккумуляции рассеянных в межзвездной среде частиц и тел различных размеров.

Падавшие астероиды по химическому составу могли несколько отличаться от среднего состава Земли и приводить к образованию неоднородностей в ее теле. Возмож-

но, что именно вследствие таких первичных неоднородностей возникла известная всем геологам диссимметрия в строении нашей планеты. Таким образом, в результате падения в область Тихого океана крупного астероида создались условия, необходимые для соблюдения принципов Реди и Кюри. Последние данные палеонтологии указывают на необычайную древность зарождения жизни — более 3 млрд. лет назад. Следовательно, время возникновения жизни и окончания формирования Земли как планеты (4,5—3,5 лет) примерно совпадает. Геологические данные показывают что диссимметрия нашей планеты с разделением на Атлантический и Тихоокеанский сегменты также возникла очень давно. Она существует, по крайней мере, с рифейской эры, т. е. 1,5 млрд. лет.

Сейчас, когда стало доказанным огромное влияние процессов, происходящих в космосе, на эволюцию жизни на Земле, когда образование ее мы объясняем путем аккумуляции астероидов, а наклон оси вращения Земли связываем с падением одного из наиболее крупных космических пришельцев, гипотеза Вернадского становится более актуальной. Быть может, недалеко то время, когда к ней придется еще вернуться, и проблема образования Земли и возникновения жизни будет выражена лаконичной формулой — жизнь на Земле возникла одновременно с образованием планеты.

МАГНИТНАЯ БРОНЯ ЗЕМЛИ

Обнаружение с помощью спутников радиационных поясов вокруг Земли в корне изменило наше представление о значении магнитного поля в эволюции органической жизни.

Солице, в недрах которого царит температура порядка 13 000 000° С, а на поверхности — около 6000° С, каждую секунду излучает $3,8 \cdot 10^{26}$ Дж энергии. На Землю попадает лишь одна двухмиллиардная доля энергии Солнца, но ее достаточно для возникновения и развития жизни. Солнце посылает на Землю два типа излучения: электромагнитные волны длиной от миллионных долей миллиметра до десятков километров и потоки заряженных частиц — корпускул, движущихся со скоростью около 1000 км/с и через одни-двое суток достигающих Земли. Часть косми-

ческого излучения приходит из-за пределов Солнечной системы.

От большей части космического излучения жители Земли надежно защищены сложной системой различных физических оболочек, через которые проникает только видимый свет, небольшая доля прилегающих к нему ультрафиолетовых и инфракрасных лучей и узкий участок радиоволн. На подступах к Земле задерживаются и корпускулы, представляющие главным образом ядра водорода (протоны) и ядра гелия (альфа-частицы), а также незначительное количество ядер тяжелых элементов.

Спасительным экраном прежде всего является земная атмосфера. Однако, задерживая одну часть космической радиации, земная атмосфера достаточно свободно пропускает другую. Существенно помогает атмосфере магнитное поле Земли, вызвавшее образование ионосферы и двух поясов заряженных частиц вокруг Земли. Внутренний экваториальный пояс с наибольшей плотностью частиц расположен на расстоянии около 3600 км от поверхности планеты. Он опоясывает Землю кольцом от 35° ю. ш. до 35° с. ш. Внешний пояс, состоящий в основном из электронов, распространяется до широт 65° . Положение в пространстве, объем и плотность частиц в нем сильно меняются, расстояние от Земли колеблется в пределах 25—50 тыс. км. Главное защитное свойство этих поясов в том, что они выполняют роль ловушек для идущих от Солнца частиц с большими энергиями. Магнитное поле, отклоняя их от направления на Землю, вовлекает в кругооборот вокруг планеты. Замечено, что если двигаться от экватора к полюсу, то число попадающих на Землю заряженных частиц несколько возрастает (примерно на 10%). В стратосфере широтный эффект в несколько раз больше, чем на уровне моря. На верхней границе атмосферы интенсивность космических лучей в районе экватора в 5 раз меньше, чем в полярных областях. В этом сказывается отсутствие постоянных поясов заряженных частиц над полярными областями. Однако это увеличение интенсивности корпускулярного потока в приполярных районах сравнительно невелико и не представляет опасности для жизни.

Благодаря магнитному полю наша планета окружена ионосферой — слоем разреженного ионизированного газа на высотах от 70 до 500 км. В этом слое текут мощные

электрические токи. Ионосфера и расположенный ниже слой озона поглощают ультрафиолетовое и рентгеновское излучение Солнца, которые, дойдя до поверхности, могли бы уничтожить на ней жизнь. У ионосферы есть еще одно замечательное свойство. Подобно зеркалу, она отражает радиоволны и делает, таким образом, возможной радиосвязь на Земле на большие расстояния.

Интенсивность космического излучения, достигающего поверхности планеты, зависит как от интенсивности солнечного излучения, так и от напряженности магнитного поля Земли и вследствие этого от экранирующего влияния ионосферы и слоев заряженных частиц.

Хотя Земля находится на расстоянии около 150 млн. км от Солнца и защищена атмосферой, ионосферой и поясами заряженных частиц, мы очень тонко чувствуем, что происходит на Солнце. Каждые 11 лет потоки солнечных газов взмывают на сотни тысяч километров вверх, устремляясь в межзвездное пространство. Такая активность продолжается 2—3 года, а затем затухает. В период максимума солнечной активности на Земле наблюдаются яркие полярные сияния, длительное (до 10 дней) нарушение в полярных районах радиосвязи, разыгрываются магнитные бури, в земле начинают течь электрические токи такой силы, что нередко приборы телефонных и телеграфных станций приходят в негодность. Нередко после солнечных вспышек в околоземные пространства вторгаются потоки заряженных частиц очень больших энергий, представляющие оторвавшиеся «куски» солнечной атмосферы. А. Л. Чижевский и его последователи установили, что органическая жизнь на Земле очень чутко реагирует на 11-летний цикл солнечной активности. Периодичность эпидемических заболеваний, их начало, развитие и окончание ритмически следуют за цикличностью нашего дневного светила. Солнце оказывается великим дирижером земных жизненных процессов.

Вполне вероятно, что имеются и более крупные циклы изменения солнечной активности, воздействие которых на органическую жизнь Земли может быть еще сильнее. Однако отсутствие необходимых количественных изменений за длительный срок не позволяет говорить об этом утвердительно.

Магнитное поле Земли по своей величине очень мало. Оно в сотни раз слабее, чем поле между подковами обыч-

ного школьного магнита. Однако земное поле занимает огромный объем, простираясь на десятки тысяч километров от поверхности Земли. А так как энергия магнитного поля пропорциональна объему, то влияние земного поля на процессы в окрестностях планеты очень велико. Если бы поле исчезло, Земля лишилась бы защиты от заряженных частиц, испускаемых Солнцем и захватываемых в магнитные ловушки. Земной шар подвергся бы бомбардировке космическими частицами огромных энергий. Нам не удалось бы увидеть незабываемые по красоте полярные сияния, так как они происходили бы на освещенной Солнцем стороне Земли вместо окутанных полярной ночью областей, куда отклоняются пути частиц под влиянием магнитного поля.

А есть ли у нас полная уверенность в том, что магнитное поле Земли постоянно существовало в течение всего периода ее жизни как планеты? Однозначно ответить на этот вопрос сейчас нельзя. Чтобы несколько приблизиться к его разрешению, рассмотрим изменение напряженности магнитного поля во времени. В последние годы возникла новая отрасль науки — археомагнетизм, занимающийся изучением величины и направления остаточной намагниченности, замеренной в образцах, взятых из печей (обожженных кирпичей и гончарной посуды). Во всех случаях, когда температура обжига достигала 800°C . т. е. превышала точку Кюри, имевшиеся в обожженной глине зерна магнитных минералов приобретали очень устойчивую во времени термоостаточную намагниченность. В 60-х годах геофизики Е. Телье и С. П. Бурлацкая исследовали термонамагниченность обожженных человеком образцов глины (время обжига установлено по археологическим данным). Это позволило построить кривую изменения напряженности геомагнитного поля за последние 5000—6000 лет. От наших дней в глубь веков магнитное поле плавно нарастает, достигая максимума примерно в начале новой эры. В тот период оно было в 1,5 раза больше современного. Затем поле начинает убывать вплоть до IV тыс. до н. э. Величина магнитного поля 5000—6000 лет назад была в 2 раза меньше, чем в настоящее время. Если двигаться еще дальше по шкале времени, то поле вновь начнет возрастать, хотя, как отмечает С. П. Бурлацкая, для уверенных выводов данных недостаточно. Таким образом, нет сомнений в том, что основ-

ная дипольная часть магнитного поля Земли испытывает колебания, вероятно имеющие периодический характер. Возможный период изменений поля превышает 6000 лет. Следует отметить, что если максимальные значения поля замерены точно, то минимальные величины напряженности поля неизвестны.

С помощью палеомагнетизма удалось установить одно интересное физическое явление, сопровождающееся резким и значительным по величине уменьшением напряженности магнитного поля. Изучение магнитных свойств геологического разреза горных пород показало, что в процессе осадконакопления северный и южный магнитные полюсы менялись местами (происходила инверсия знака магнитного поля). В некоторых геологических периодах было по несколько инверсий магнитного поля. Не менее девяти инверсий поля произошло в последний плиоцен-четвертичный отрезок геологического времени, длившийся 11 млн. лет. Последняя инверсия магнитного поля на нашей планете отмечена в начале четвертичного периода, т. е. 500—800 тыс. лет назад. Считают, что в среднем поле одного знака существует не менее 500 тыс. лет.

В момент инверсии величина поля уменьшается до 0,3 от нормальной, а если учесть предшествующий уменьшению некоторый «скачок» его величины, то общая амплитуда уменьшения поля примерно равна его нормальной величине. Процесс инверсии магнитного поля Земли изучен лишь в первом приближении. Не исключено, что в период минимальных значений поля в отдельные промежутки напряженность магнитного поля на Земле была меньше 0,3 от нормального.

Легко понять, что органической жизнью нашей планеты наступление инверсии магнитного поля воспринималось как грандиозная катастрофа. Ведь уменьшение напряженности магнитного поля в 3 раза должно вызвать пропорциональное увеличение уровня космической радиации на Земле. Уменьшение напряженности поля происходило на протяжении отрезка времени, измеряемого столетиями, в течение которых животному миру было необычайно трудно приспособиться к резкому увеличению космической радиации.

Недавно канадский ученый-геолог Я. Крейн предположил, что причиной массового вымирания организмов было не влияние радиации, а непосредственно снижение

напряженности магнитного поля в процессе изменения его полярности.

Крейн обосновывает свою догадку экспериментами, во время которых живые организмы помещались в искусственное магнитное поле с меньшей, чем у Земли, напряженностью. После 72-часового пребывания в таком поле способность бактерий к размножению уменьшалась в 15 раз; нарушались двигательные рефлексy у ленточных червей и моллюсков; снижалась нейромоторная активность у птиц; у мышей нарушался обмен веществ. При более длительном пребывании появлялись изменения в тканях и возникало бесплодие.

По мнению Крейна, влияние магнитного поля на организм может быть усилено климатическими изменениями, ветрами, снижением температуры плюс потоком космических лучей; и судя по древним окаменелостям, общий результат всех этих влияний на некоторые живые организмы может быть катастрофическим.

В эволюции органического мира эпохи инверсии, возможно, представляли своеобразное «сито», сквозь которое происходил естественный отбор всего живого на Земле.

ИСЧЕЗНОВЕНИЕ ДИНОЗАВРОВ

Французский ученый Ж. Кювье, основоположник палеонтологии — науки об организмах, живших на Земле в геологическом прошлом, в трактате «Рассуждение о переворотах на поверхности земного шара» (1830) изложил свои представления о связи смены фауны и флоры в истории Земли с великими геологическими переворотами, уничтожавшими живые организмы. Идеи Кювье вошли в историю науки как теория катастроф.

Ошибочность идей Кювье была очевидна для многих передовых биологов еще до появления учения Ч. Дарвина, но после того как в геологии восторжествовали эволюционные идеи Ч. Лайеля, а в биологии — Ч. Дарвина, теория катастроф сохранилась лишь в истории науки.

Как известно, согласно учению Ч. Дарвина, эволюция животного мира и растений определяется естественным отбором. Он устраняет одни генетические комбинации и способствует развитию других, более ценных с точки зрения приспособляемости. Однако объяснение эволюции живого вещества только лишь как результата естествен-

ного отбора встречает ряд трудностей. Так, например, растения, являющиеся по сравнению с животными более пассивными организмами, должны были бы сравнительно слабо развиваться. На самом же деле цветковые растения, наиболее молодые и высокоразвитые, насчитывают гораздо большее число видов, чем млекопитающие. Возможно, этим объясняется в последние годы возврат некоторых палеонтологов к теории катастроф для того, чтобы объяснить причину резкого изменения форм организмов, населявших Землю в ее геологическом прошлом. Наиболее последовательно эти идеи в палеонтологии выражает немецкий ученый О. Шиндевольф. Он считает, что катастрофическое вымирание значительных групп организмов произошло в конце пермского периода (230—250 млн. лет назад). В то время исчезло около 24 групп (отрядов) различных представителей фауны, и в дальнейшем на протяжении 10 млн. лет имело место значительное ее обеднение.

Еще больше изменились фауна и флора в конце мезозойской эры, когда вымирание охватило не только морские группы, но и господствовавшую группу наземных четвероногих — динозавров.

Эти резкие скачки в палеонтологической летописи О. Шиндевольф связывает не с геологическими изменениями, происходившими на поверхности Земли, а с внезапными внешними факторами — мощными взрывами солнечной или космической радиации. Взрывы вызывали вымирание одних групп организмов и ускорение темпов возникновения мутаций в других. Возможный катастрофический характер отдельных периодов развития флоры и фауны предполагается и некоторыми другими советскими и зарубежными исследователями.

Следует сразу же оговориться, что большинство палеонтологов, не отрицая влияния крупных изменений физико-географических условий на развитие жизни, считают, что катастрофические факторы не играли существенной роли в процессе эволюции. Они остаются целиком на позициях дарвинской концепции вымирания как нормального процесса, представляющего результат естественного отбора и неизменно сопутствующего эволюции. Наиболее убедительно эта точка зрения аргументирована советским ученым Л. Ш. Давиташвили. Дело в том, что нельзя считать доказанным положение об одновремен-

ном, геологически мгновенном исчезновении групп организмов. Вместе с тем даже те ученые-палеонтологи, которые отрицают внезапное катастрофическое вымирание определенных видов животных в прошлом, признают, что в конкретных условиях могли очень быстро вымирать систематические группы.

Вот уже в течение многих десятков лет исследователи самых разных специальностей — геологи, палеонтологи, биологи, астрономы — ищут причины гибели динозавров и многих других пресмыкающихся, происшедшей в позднем мелу, примерно 80 млн. лет назад.

Одной из отличительных особенностей динозавров было то, что многие из них ходили на двух ногах. Так называемые птеродактили могли летать. Тиранозавры (длиной 14 м) считаются самыми крупными из всех плотоядных животных, живших когда-либо на суше.

Крупнейший среди динозавров, передвигавшихся на четырех ногах, травоядный ящер диплодок достигал в длину (от головы до конца хвоста) 25 м. Это животное имело необыкновенно маленькую головку, длинную шею, массивное туловище, очень длинный хвост и столбовидные ноги. Для гиганта, помимо обычного головного и спинного мозга, природа предусмотрела еще один мозг, располагавшийся в области таза и по своему объему в несколько раз превосходивший головной.

В конце мезозойской эры все эти разнообразные и в большинстве своем прекрасно приспособленные к окружающей среде животные вымерли. Одновременно с ними вымер и ряд других морских и наземных животных.

Ученые по-разному оценивали это явление. Но основной причиной гибели считали изменение климатических условий, в частности значительное похолодание. «Зная восприимчивость рептилий к изменениям температуры,— писал выдающийся русский зоолог М. А. Мензбир,— причину вымирания можно было бы искать в резком или даже постепенном, но значительном понижении температуры; однако флора не дает на это указаний ни в Европе, ни в Америке» *. Интересные соображения по этому поводу высказал один из крупнейших русских геологов академик А. П. Павлов: «Конечно, климатические изме-

* Мензбир М. А. Очерки истории фауны Европейской части СССР М., 1934, с. 54.

нения имели большое влияние на судьбы органического населения какого-нибудь древнего континента или его части. Но ведь климаты Земли не изменялись внезапно и повсеместно... В большинстве случаев животные и растения могли при ухудшении климата мигрировать в другие широты... и если в некоторых случаях это было невозможно, в известном районе могло иметь место вымирание, но оно должно было иметь местный, а не повсеместный на Земле характер и не могло быть причиной полного исчезновения какой-нибудь из широко распространенных групп. Еще труднее применить это объяснение к вымиранию широко распространенных групп морских животных, на судьбы которых изменения рельефа поверхности суши едва ли могли оказывать фатальное влияние» *.

Существовало предположение, что гибель травоядных динозавров в конце мела была обусловлена сменой типа растительности, в частности расцветом двудольных покрытосемянных, сильно обогативших атмосферу кислородом и вызвавших снижение в атмосфере свободной углекислоты. Однако и эта причина вымирания всего лишь одной группы животных едва ли могла иметь действие, так как смена растительности произошла еще в начале позднего мела, а резкое вымирание динозавров — лишь в конце его.

Совершенно очевидно, что причину гибели следует искать не в действии того или иного фактора, а в резких изменениях обстановки в целом.

Вымирание ряда групп по времени приходится на ларамийскую органическую фазу. Ларамийский орогенез, совпавший с обширной регрессией моря, должен был чрезвычайно сильно изменить рельеф поверхности земной коры. Это, конечно, повлияло на влажность и общий характер климата, а также на распределение растительности. Для громоздких сухопутных форм рептилий, обитавших, несомненно, на плоском рельефе, быстрое приспособление к новым условиям было весьма трудной задачей, и это обстоятельство, вероятно, оказалось для них роковым.

О. Шиндевольф и ряд других ученых ставят под сомнение совпадение периода ларамийской складчатости с вымиранием живых организмов в конце мезозоя.

* Павлов А. П. Очерк истории геологических знаний. М., 1916, с. 48.

Существуют и другие гипотезы, объясняющие этот крупнейший кризис в истории органической жизни Земли. К их числу относится наиболее, на наш взгляд, интересная, выдвинутая еще в 1957 г. советскими учеными В. П. Красовским и И. С. Шкловским. Эта гипотеза предполагает влияние вспышек сверхновых звезд на эволюцию жизни на Земле. Авторы указывают, что каждая вспышка сверхновых дает огромное количество космических лучей с очень высокими энергиями. Солнце, движущееся вместе с окружающими его планетами в пределах Галактики, могло попадать в такие области космического пространства, где плотность космических лучей была в сотни раз выше, чем в настоящее время. Это происходило тогда, когда сверхновые вспыхивали в непосредственной близости от Солнца. Анализируя частоту их вспышек в пределах Галактики, Красовский и Шкловский приходят к выводу, что примерно один раз в 200 млн. лет в качестве сверхновых вспыхивали ближайšie к Солнцу звезды, находящиеся на расстоянии меньше 8 парсек*. Поток жесткого, например рентгеновского, излучения при этом был очень большой интенсивности, превышая обычный уровень космических излучений, достигающих поверхности Земли, в десятки, если не в сотни раз. Такие эпохи длились несколько тысячелетий.

Все это могло иметь серьезные биологические, и прежде всего генетические, последствия. Должна была увеличиться частота мутаций, что, как известно, особенно сказывается на долгоживущих организмах. При вспышках сверхновых вблизи Солнечной системы происходило длительное, продолжавшееся несколько тысячелетий, воздействие на организмы космических лучей с интенсивностью в десятки и сотни раз больше обычной.

В. П. Красовский и И. С. Шкловский предполагают, что с этим процессом связана гибель динозавров в конце мелового периода. Они считают, что увеличение потока космических лучей при вспышках сверхновых иногда могло оказаться и благоприятным фактором для эволюции. Так, не исключено, что пышный расцвет растительности в каменноугольном периоде был обусловлен повышением уровня жесткой радиации космического происхождения. Возможно, этот фактор стимулировал в свое

* 1 парсек = 3,259 светового года = 31 тыс. млрд. км.

время появления из простых органических соединений сложных комплексов, из которых развивалась жизнь на Земле.

Как уже упоминалось, в конце мелового периода помимо динозавров вымерли еще многие виды живых организмов, например аммониты — моллюски, напоминавшие современных наутилусов и имевшие такую же спирально свернутую раковину. Аммониты, появившиеся еще в позднесилурийскую эпоху (примерно 400 млн. лет назад), быстро развились и во множестве видов были распространены в древних морях. И вот перед их полным исчезновением в меловом периоде, а особенно в позднемеловое время, раковины многих аммонитов приобретают необычные, причудливые формы. Появление «аномальных» раковин можно объяснить ростом мутаций из-за увеличения потока космических лучей, достигавших поверхности Земли. Здесь важно отметить тот факт, что аммониты населяли поверхность моря, т. е. не были защищены от воздействия космической радиации слоем воды. Последнее обстоятельство, напротив, способствовало большей устойчивости в конце мелового периода морских животных по сравнению с наземными. Американский ученый Брамлет считает, что примерно в то же время произошло массовое вымирание фитопланктона — одной из форм микроорганизмов, населявших морскую поверхность и являвшихся продуктом питания для многих крупных животных.

Кратко упомянем и другие гипотезы, объясняющие массовое вымирание некоторых групп живых организмов.

Первая категория этих гипотез исходит из того, что образование гор на поверхности Земли шло относительно быстро, в виде революций. К этим гипотезам относится объяснение причин вымирания, предложенное Б. Л. Личковым. По его мнению, в истории развития Земли было шесть геологических циклов, завершившихся шестью преобразовательными революциями. Каждая такая революция создавала контрастный рельеф земной поверхности, способствовавший интенсивной разрушительной деятельности поверхностных вод и поступлению в пониженные части суши и в моря большого количества солей. Последнее обстоятельство влияло на расцвет растительности и животных организмов. Затем по мере сглаживания рельефа количество веществ, выносимых на низменности и в моря, уменьшалось до тех пор, пока в какой-то мере не

становилось минимальным. В этот период происходило массовое вымирание, по выражению Б. Л. Личкова, «менее пластичных форм живых существ». Новые горообразовательные движения приводили к новому расцвету сохранившихся форм жизни.

Упомянувшееся выше исчезновение фитопланктона Брамлет объясняет с позиций, близких к гипотезе Личкова. В конце мелового периода Земля переживала эпоху тектонического покоя, в результате чего рельеф поверхности оказался более сглаженным, чем обычно, и соответственно снос в океан минеральных веществ, нужных для питания морских микроорганизмов, сильно уменьшился.

Однако гипотеза Б. Л. Личкова, как и другие близкие гипотезы, опровергается тем, что у современной геологии нет никаких данных об образовании гор на поверхности Земли в виде переворотов. Напротив, есть достаточно много фактов считать горообразовательные движения длительными, происходившими так медленно, что за это время постепенно перестраивалась и перераспределялась фауна и флора.

Довольно распространенная группа гипотез объясняет вымирание организмов изменением состава земной атмосферы. А. П. Павлов считал, что две великие эпохи вымирания живых организмов (одна в конце палеозойской эры — 200 млн. лет назад и другая в конце мезозойской эры — 70—80 млн. лет назад) хронологически соответствуют двум «великим геологическим революциям» — герцинской и ларамийской. В это время интенсивно проявлялся вулканизм, наземный и подводный, приводивший к изменениям газового состава атмосферы и солевого состава морей. По мнению А. П. Павлова, эти изменения и были главным фактором вымирания.

Наконец, существуют гипотезы, связывающие вымирание больших групп организмов с колебанием уровня Мирового океана, с изменением его солености, с количеством микроэлементов в почве и водах.

В то же время следует учитывать, что летопись жизни на Земле пока является далеко не полной, и в результате события, которые представляются внезапными и катастрофическими, на самом деле могли быть обусловлены постепенными изменениями геолого-географической обстановки и сопровождались появлением организмов, отражавших соответствующие эволюционные процессы.

КЛИМАТ И ОЛЕДЕНЕНИЯ

На Камчатке на небольшом по площади участке долины одноименной реки находится гигантское кладбище мамонтов. Бивни, черепа, отдельные части и целые скелеты почти сплошной полосой обнажаются в обрыве реки и, размываемые водой, разносятся вниз по течению. Сотни гигантских северных слонов нашли здесь свою смерть. За пределами этого центрального участка долины Камчатки кости мамонта встречаются редко. Массовая гибель здесь травоядных гигантов была вызвана быстро наступившим похолоданием. Долину Камчатки со всех сторон окружают цепи вулканов и горных кряжей. Похолодание сначала привело к образованию ледников в горах. Постепенно площадь оледенения расширялась, а сами ледники, спускаясь в межгорную долину все ниже и ниже, в конце концов замкнули ее со всех сторон ледовым барьером. Остался маленький клочок земли в долине реки, не захваченный льдом. Сюда и перебрались мамонты со всей Камчатской долины. Несмотря на то что ледники так и не покрыли этот небольшой кусочек земли, животные уже не могли выжить. Беда была не только в том, что для такого огромного стада площадь пастбищ оказалась недостаточной. Причиной катастрофы стали близлежащие ледники, резко понизившие температуру местности.

Кладбище мамонтов на Камчатке не единственный пример катастрофического влияния изменения климата на растительность и животный мир в эпохи великих оледенений.

Сейчас крупные ледники существуют лишь на высоких хребтах да в приполярных областях. Так, на Антарктическом материке мощность ледникового покрова достигает 4500 м, в Гренландии — 3300 м. Мощность языков крупных ледников Кавказа — 100 м, Тянь-Шаня и Памира — 560—600 м, ледника Федченко — около 1000 м.

Ледниковый покров 10 000—20 000 лет назад занимал огромные пространства нашей планеты. Большая часть Европы и Северной Америки была покрыта льдом. Спускаясь со Скандинавских гор, ледник достигал Волгограда и Киева, закрывал территорию Польши и Англии (рис. 6).

Оледенение в четвертичном периоде не было единым крупным похолоданием, а состояло из ряда ледниковых и

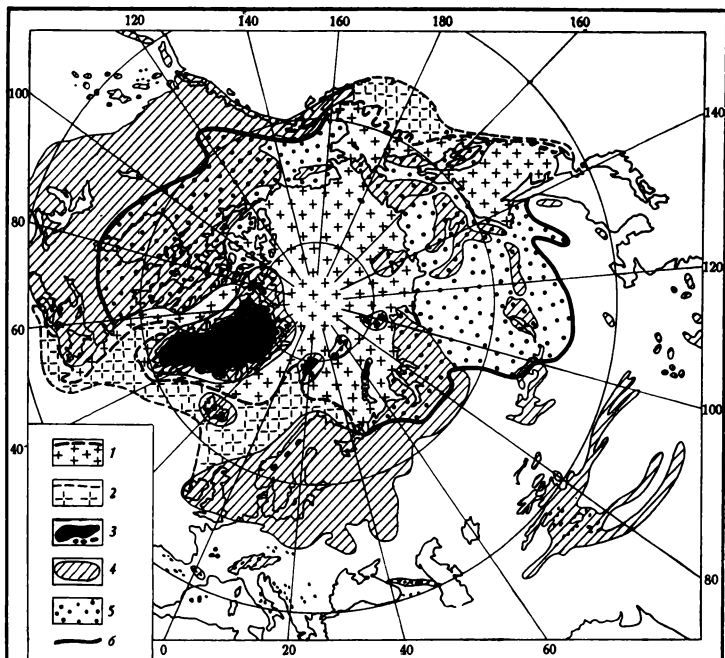


Рис. 6. Ледниковая область северного полушария в четвертичном периоде (по К. К. Маркову)

1 — плавающие льды (современное состояние); 2 — распространение плавающих льдов около 10 тыс. лет назад; 3 — современное оледенение; 4 — максимальное оледенение; 5 — горное оледенение; 6 — южная граница вечной мерзлоты

межледниковых эпох, каждая из которых в свою очередь разбивалась на несколько стадий. На рисунке показано, как отступал (деградировал) ледниковый покров Валдайского оледенения на Русской равнине. Мы видим, что постепенное уменьшение площади ледникового панциря сопровождалось временами его роста. Очевидно, что это в свою очередь явилось следствием колебаний температуры с периодичностью около 1000 лет.

Однако известны и еще более кратковременные колебания среднегодовой температуры на поверхности Земли. Так, с начала нашего века стала заметно теплеть Арктика. Это выразилось, в частности, в уменьшении ледови-

тости океана, в удлинении срока навигации и т. д. Но с 1940 г. вновь началось похолодание, продолжающееся до настоящего времени.

Можем ли мы отнести эпохи оледенения нашей планеты к числу катастрофических явлений? Безусловно, да. В масштабе геологического времени они наступали почти мгновенно.

Двигавшиеся с севера льды вызвали гигантское перемещение народов с севера на юг, а также коренное изменение образа их жизни. Перемена климата явилась одним из важнейших факторов, с одной стороны, быстрого развития, с другой — вымирания отдельных племен. Достаточно сказать, что пригодная для обитания человека площадь земного шара была на 30 млн. км² меньше, чем в настоящее время.

Чем же были вызваны такие резкие похолодания на нашей планете, и можно ли ожидать новой вспышки холода в будущем?

Установлено, что резкое похолодание, усилившееся на севере нашей планеты около миллиона лет назад, т. е. в начале четвертичного периода, было не единственным в истории Земли. В Африке, Южной Америке, Индии и Австралии обнаружены ледниковые отложения в осадках, образовавшихся 300 млн. лет назад (в каменноугольный период). Известны и еще более древние следы ледниковой деятельности — рифейское оледенение 600—700 млн. лет назад. Самые же древние ледниковые образования имеют возраст свыше миллиарда лет.

Замечено, что все великие оледенения нашей планеты совпадали с крупнейшими горообразовательными эпохами, когда рельеф земной поверхности был наиболее контрастным. Площадь морей уменьшилась. В этих условиях колебания климата становились более резкими.

Анализируя растительные сообщества, существовавшие на нашей планете в последние 30—50 млн. лет, ученые заметили, что климат на нашей планете постепенно ухудшался — происходило медленное похолодание. Его связывают с усиливавшимся горообразованием, и в первую очередь с увеличением абсолютной высоты рельефа на Антарктическом материке. Горы высотой до 2000 м, возникшие в Антарктиде, т. е. непосредственно на Южном полюсе Земли, стали первым очагом образования покровных ледников. Сейчас установлено, что оледенение

Антарктиды началось более 30 млн. лет назад. Возникновение ледника в Антарктиде сильно увеличило отражательную способность на этом материке, что в свою очередь привело к понижению температуры. Постепенно ледник Антарктиды рос как по площади, так и в толщину, и его влияние на тепловой режим Земли все увеличивалось. Температура льда медленно снижалась. Антарктический материк стал крупнейшим аккумулятором холода на нашей планете. Благодаря морским течениям и атмосферной циркуляции холод с Антарктического материка распространялся по всей планете и похолодание на Земле постепенно усиливалось.

Горообразовательные процессы, приведшие, в частности, к росту гор в Антарктиде, являются необходимым, но еще не достаточным условием возникновения оледенения. Средние высоты гор в настоящее время не ниже, а, может быть, даже выше тех, какие были во время оледенения, происходившего в начале четвертичного периода, однако сейчас площадь ледников относительно невелика. Очевидно, необходима какая-то дополнительная причина непосредственно вызывающая резкое похолодание.

По этому поводу существует много гипотез. Прежде чем остановиться на некоторых из них, следует подчеркнуть, что для возникновения крупного оледенения планеты не требуется сколько-нибудь значительного понижения температуры. Расчеты показывают, что общее среднегодовое понижение температуры на Земле на 2—4° С вызовет спонтанное развитие ледников, которые в свою очередь понизят температуру на Земле. В результате ледниковый панцирь покроет значительную часть площади Земли.

От чего же зависит понижение средней температуры Земли?

Высказывались предположения, что причина заключается в изменении количества тепла, получаемого от Солнца. Выше говорилось об 11-летней периодичности солнечного излучения. Возможно, существуют и более длительные периоды. В этом случае похолодания могут быть связаны с минимумами солнечного излучения. Повышение или понижение температуры на Земле происходит и при неизменном количестве энергии, поступающей от Солнца, а также определяется составом атмосферы.

В 1909 г. С. Аррениус впервые подчеркнул огромную

роль углекислого газа как регулятора температуры приповерхностных слоев воздуха. Углекислота свободно пропускает солнечные лучи к земной поверхности, но поглощает большую часть теплового излучения Земли. Она является колоссальным экраном, препятствующим охлаждению нашей планеты. Сейчас содержание в атмосфере углекислого газа не превышает 0,03%. Если эта цифра уменьшится вдвое, то средние годовые температуры в умеренных поясах снизятся на 4—5° С, что может привести к началу ледникового периода.

Изучение современной и древней вулканической деятельности позволило вулканологу И. В. Мелекесцеву связать похолодание и вызывающее его оледенение с увеличением интенсивности вулканизма. Хорошо известно, что вулканизм заметно влияет на земную атмосферу, изменяя ее газовый состав, температуру, а также загрязняя ее мелкораздробленным материалом вулканического пепла. Огромные массы пепла, измеряемые миллиардами тонн, выбрасываются вулканами в верхние слои атмосферы, а затем разносятся струйными течениями по всему земному шару. Через несколько суток после извержения в 1956 г. вулкана Безымянного его пепел был обнаружен в верхних слоях тропосферы над Лондоном. Пепловый материал, выброшенный во время извержения в 1963 г. вулкана Агунг на острове Бали (Индонезия), был найден на высоте около 20 км над Северной Америкой и Австралией. Загрязнение атмосферы вулканическим пеплом вызывает значительное уменьшение ее прозрачности и, следовательно, ослабление солнечной радиации на 10—20% против нормы. Кроме того, частицы пепла служат ядрами конденсации, способствуя большому развитию облачности. Повышение облачности в свою очередь заметно уменьшает количество солнечной радиации. По расчетам Брукса, увеличение облачности с 50 (характерно для настоящего времени) до 60% привело бы к понижению среднегодовой температуры на земном шаре на 2° С.

До настоящего времени большинством исследователей роль вулканизма в проявлении оледенений резко преуменьшалась. В данном случае, как и в примере с астероидами, повинен прежде всего принцип актуализма. В современную эпоху мощные извержения, с которыми связаны колоссальные выбросы пепла, происходили неоднократно (в км³): Тамбора (1815) — 186, Косегвина (1835) — 10,

Кракатау (1883) — 18, Ксудач (1907) — 3, Катмай (1912) — 28, Безымянный (1956) — 3. Однако эти извержения были отделены друг от друга десятками лет, в течение которых выброшенный материал успел осесть на Землю задолго до следующего крупного извержения. Поэтому суммарное воздействие таких извержений на изменение климата невелико, несмотря на значительный климатический эффект каждого из них.

В более ранние отрезки четвертичного периода картина могла быть существенно иной. Изучение осадков дна Тихого и Атлантического океанов показало, что на протяжении четвертичного периода интенсивность вулканической деятельности периодически изменялась. Такие колебания были свойственны, по-видимому, огромным территориям, поскольку даже очень удаленные друг от друга колонки донных осадков имеют сходную ритмичность.

Интересно, что периоды наиболее обильного осажде-ния пепла совпали с отдельными стадиями оледенения. При современной интенсивности вулканизма заметной концентрации пепла в океанических осадках не наблюдается. Отсюда следует, что в период формирования «холодных» горизонтов донных осадков интенсивность вулканизма была намного выше. Установлено, что на Камчатке и в других вулканических областях эпохи похолодания совпадали с эпохами интенсивного вулканизма.

Таким образом, очевидна причинная связь эпох интенсивного вулканизма с эпохами похолодания. Однако не следует и преувеличивать значение этого фактора. Хорошо известно, что в позднемиоценовую эпоху и в палеогене на земной поверхности не существовало сколько-нибудь значительных ледников, хотя в то время были сформированы колоссальные покровы из вулканического материала по обрамлению Тихого океана.

Решающей предпосылкой возникновения оледенений является, как мы уже отмечали, наличие контрастного рельефа земной поверхности, созданного горообразованием. Колебания солнечной активности, вулканизм, а может быть, и другие причины стали своего рода спусковыми механизмами, вызывающими оледенение, когда необходимая обстановка для этого была уже создана.

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ

В начальную стадию развития нашей планеты вулканы покрывали, вероятно, всю ее поверхность. Позже они стали возникать лишь вдоль крупных разломов в земной коре. Большинство вулканов не сохранилось: горообразовательные процессы и эрозия рек разрушили их. Те вулканические горы, которые встречаются сейчас на поверхности нашей планеты, возникли сравнительно недавно — в четвертичном периоде.

Современные вулканы сосредоточены на Земле вдоль определенных зон (поясов), характеризующихся высокой тектонической подвижностью. В этих поясах обычно происходят разрушительные землетрясения; тепловой поток из недр Земли здесь в несколько раз выше, чем в спокойных областях.

Наиболее крупным на нашей планете является Тихоокеанское огненное кольцо, где находится 526 вулканов. Из них 328 извергалось в историческое время. На нашей территории в Тихоокеанское огненное кольцо входят вулканы Курильских островов (140) и полуострова Камчатки (28). Наиболее активными по частоте и силе извержения являются вулканы Ключевской, Нарымский, Шивелуч, Безымянный, Ксудач.

Второй крупный вулканический пояс протягивается через Средиземноморье, Иранское плоскогорье к Зондскому архипелагу. В его пределах находятся такие вулканы, как Везувий (Италия), Этна (полуостров Сицилия), Санторин (Эгейское море). В этот пояс попадают и вулканы Кавказа и Закавказья. На Большом Кавказском хребте высятся два вулкана Эльбрус (5642 м) и двухвершинный Казбек (5033 м). В Закавказье, на границе с Турцией, разместился вулкан Арарат с конусом, покрытым снежной шапкой. Немного восточнее в хребте Эльбурс, обрамляющем с юга Каспийское море, расположен красивейший вулкан Демавенд. Много вулканов (63, из них 37 действующих) в Зондском архипелаге (Индонезия).

Третий крупный вулканический пояс протягивается вдоль Атлантического океана. Здесь насчитывается 69 вулканов, из них 39 извергалось в историческое время. Наибольшее число вулканов (40) на острове Исландия, расположенном по оси подводного срединно-океанического

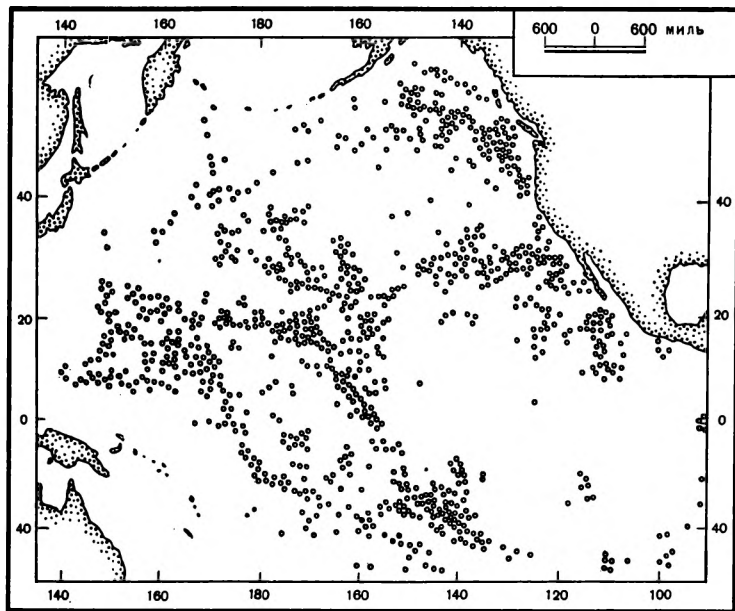


Рис. 7. Вулканы на дне Тихого океана

хребта, причем 27 из них уже заявляли о своей активности в историческое время. Вулканы Исландии извергаются довольно часто.

Четвертый вулканический пояс относительно невелик по размерам. Он занимает Восточную Африку (40 вулканов, из них 16 действующих). Самый известный вулкан этого пояса Килиманджаро (высота 5895 м).

За пределами этих четырех вулканических поясов вулканы на материках почти не встречаются. На обширных пространствах Центральной и Северной Европы, в большинстве районов Азии, в Австралии, в Северной и Южной Америке, исключая Тихоокеанское кольцо, их нет. Но вот в океанах картина совершенно иная. Проведенное в последние два десятилетия подробное изучение рельефа океанического дна показало, что на дне всех без исключения океанов имеется огромное число крупных вулканических построек. Особенно много их обнаружено

на дне Тихого океана (рис. 7). Самой интересной особенностью большинства подводных вулканов является то, что вершины у них плоские. Ученые установили, что такие плоские вершины вулканов образовались тогда, когда эти вулканы выступали из воды. Волны размыли торчащий из воды конус, образовав почти ровную поверхность. Впоследствии дно океана погрузилось, и эти вулканы без вершин, называемые гийотами, оказались под водой.

Грандиозность вулканических явлений и вызываемые ими разрушения с древних времен привлекали внимание людей. Почти у всех народов встречаются легенды о горах, извергающих огонь.

Вулканы подразделяются на действующие и потухшие. Действующими считают вулканы, извержения которых происходили на памяти людей. Такое подразделение очень условно. Ведь историческая эпоха чрезвычайно коротка по сравнению с геологической жизнью Земли. Сколько раз вулкан, считавшийся потухшим, вдруг начинал действовать. В вулканологии — науке о вулканических процессах — известно правило, полученное на основании наблюдений за многими десятками вулканов: при своем пробуждении вулкан должен проявить мощь, пропорциональную длительности предшествовавшей стадии покоя. Поэтому в большинстве своем именно потухшие вулканы становились источником наиболее крупных вулканических пароксизмов. Примером может служить Везувий, считавшийся потухшим до катастрофы, вызвавшей гибель Помпеи. В 1888 г. ожил вулкан Бандай-Сан в Японии, уничтоживший 11 деревень; в 1951 г. 5000 человек стали жертвами вулкана Лемингтон в Новой Гвинее. Наконец, в 1956 г. произошло самое сильное извержение XX в. — взрыв считавшегося потухшим вулкана Безымянного на Камчатке.

В зависимости от химического состава лавы, поднимающейся из жерла, вулканы подразделяются на различные типы. Различаются они и по характеру извержений. Мы расскажем о нескольких катастрофических извержениях вулканов разных типов.

Изучение глубоководных отложений восточной части Средиземного моря и вулканического Санторинского архипелага позволило восстановить условия грандиозной вулканической катастрофы, случившейся 3500 лет назад в Средиземном море.

Донные осадки глубоководных морей и океанов обычно исследуются с помощью специальных трубок — грунтоносов, опускаемых на дно океана с палубы корабля. Эти трубки, полые внутри, врезаясь в приповерхностные слои донных отложений, заполняются последними и затем извлекаются на дневную поверхность. Вынутая из трубки грунтоноса колонка донных осадков обычно достигает в длину нескольких метров, а в некоторых случаях и первых десятков метров. По колонке поднятого грунта можно проследить последовательность отложения морских осадков. Самый верхний слой колонки образовался в современную нам эпоху (чем ниже по разрезу колонки, тем осадки древнее).

В колонках грунта, поднятого со дна восточной части Средиземного моря, были обнаружены два слоя вулканического пепла. Такой пепел во время вулканического взрыва выбрасывается из жерла вулкана на громадную высоту — до 20—40 км над земной поверхностью. Вместе с мелкими частицами в воздух летят различных размеров вулканические бомбы — спекшиеся куски пепла (пемза). Такой материал вулканических выбросов геологи называют тефрой.

Проведенное американскими учеными Д. Нинковичем и Б. Хейзенем детальное изучение добытых колонок грунта позволило надежно различить верхнюю и нижнюю тефру, построить карты площадного распространения этих двух вулканических слоев и определить их толщину (рис. 8, 9). Конфигурация площади, где обнаружены вулканические осадки, и характер распределения мощности (толщины) двух пепловых прослоев не оставляют сомнения в том, что этот пепел образовался в результате извержений вулкана Санторина, расположенного в 120 км к северу от острова Крит. Так, наибольшая толщина нижнего пеплового слоя, достигающего в одной колонке 10, в другой — 22 см, обнаружена к юго-востоку от Санторина. Пепел разносился на расстояние около 1000 км от

вулкана. Судя по карте на рис. 8, можно заключить, что нижняя тефра Санторина почти не достигла восточной части Тирренского моря и Африканского побережья и не образует там слоя, превышающего 1 мм. К северу, востоку и югу от Санторина максимальное расстояние, на которое переносился пепел, способный образовать слой толщиной более 1 мм, составляет 300—400 км. Все острова в Эгейском море, включая Крит, находящиеся в радиусе 200 км от Санторина, были покрыты слоем эолового пепла толщиной в несколько сантиметров.

Верхний горизонт вулканических осадков (верхняя тефра) достигает наибольшей толщины также вблизи Санторина. В колонке, расположенной в 130 км к юго-востоку от вулкана, толщина его превышает 2 м. Карта на рис. 9 показывает, что пепел, составляющий этот горизонт, достигал берегов Африки, Малой Азии и Балканского полуострова, чтобы отложиться там слоем, превышающим 1 мм. Максимальное расстояние, на которое переносился пепел верхней тефры, составляло практически не более 700 км. В местах его наибольшего скопления обнаружено, что пепловый слой верхней тефры состоит из шести горизонтов — трех крупнозернистых и трех тонкозернистых с резкими контактами между ними. Это указывает на то, что верхний пепловый слой образовался вследствие трех последовательных извержений Санторина, из которых первое было наиболее сильным и пеплообильным.

Вулканические извержения часто выбрасывают пепел на высоту около 50 км. Дальнейшее его распространение зависит в первую очередь от направления и скорости высотных ветров. Проанализировав воздушные токи в восточной части Средиземноморья, Д. Нинкович и Б. Хейзен пришли к следующему выводу: распределение материала нижней тефры свидетельствует о его переносе ветрами высокой скорости, что указывает на извержение вулкана в зимнее время.

Верхняя тефра отлагалась в условиях более низких скоростей ветра. Это согласуется с метеорологической схемой летних северо-западных пассатных ветров, имеющих относительно низкие скорости.

Детально изучив обнаруженные в колонках грунта раковины микроорганизмов, а также определив радиоуглеродным методом абсолютный возраст слоев, располо-

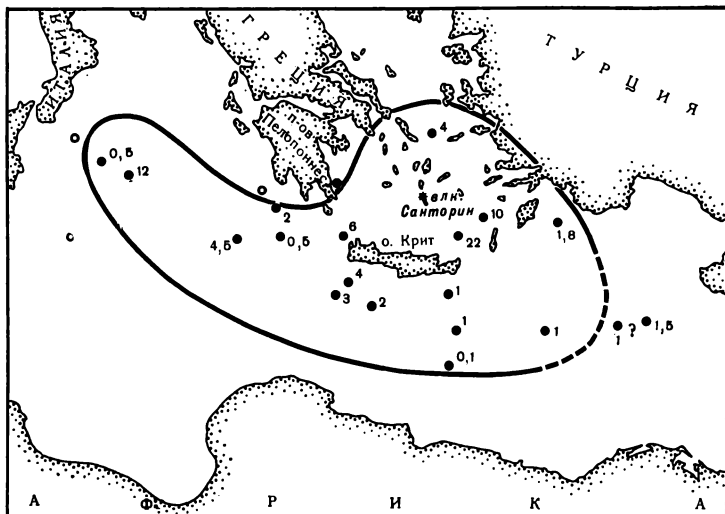


Рис. 8. Распространение нижней тефры вулкана Санторин в донных осадках восточной части Средиземного моря (по Д. Нинковичу и Б. Хейзену)
 Цифры — мощность слоя (в см), кружки — места взятия проб

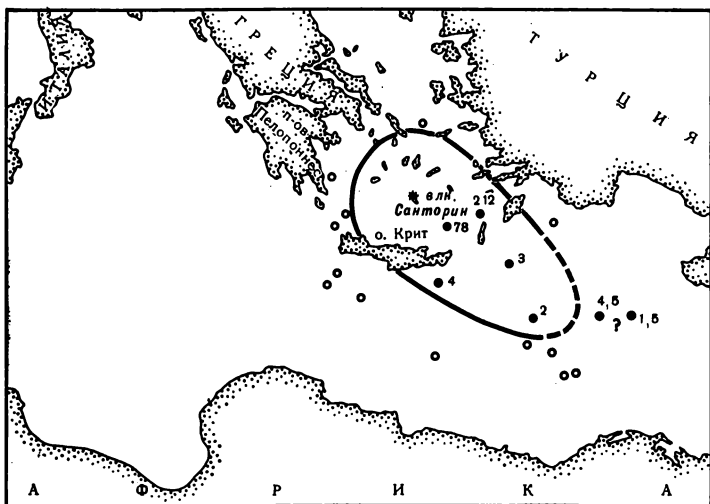


Рис. 9. Распространение верхней тефры вулкана Санторин в донных осадках восточной части Средиземного моря (по Д. Нинковичу и Б. Хейзену)
 Цифры — мощность слоя (в см)

женных выше и ниже пепловых горизонтов, Д. Нинкович и Б. Хейзен заключили, что отложение нижней тефры произошло еще в доисторическое время (не менее чем 25 тыс. лет назад). Верхний пепловый горизонт оказался значительно моложе. Хотя наблюдается довольно большой разброс цифр, все же несомненно, что верхняя тефра образовалась менее 5 тыс. лет назад.

Время возникновения верхней тефры может быть сейчас датировано и точнее. Безусловно, образование верхнего пеплового горизонта вызвано извержением Санторина, а оно датируется достаточно надежно путем определения абсолютного возраста по изотопу углерода ^{14}C в куске дерева, найденного под 30-метровой толщей пепла. Заметим, что пепел с кальдеры Санторина и из верхнего слоя донных отложений Восточного Средиземноморья совершенно идентичен. Извержение Санторина, сопровождавшееся образованием кальдеры, произошло 3370 ± 100 лет назад. Значит, это грандиозное событие относится приблизительно к 1400 г. до н. э.

Исследование донных отложений Восточного Средиземноморья и изучение геологического строения Санторинского архипелага позволяют достаточно полно восстановить последовательность извержений этого вулканического аппарата.

Вулкан Санторин необычайно молод (конечно, в геологическом значении этого слова). Он возник всего 100—200 тыс. лет назад, т. е. уже в четвертичном периоде, на месте древней суши, существовавшей в области Эгейского моря в течение многих сотен миллионов лет. Наверное, прошло около 100 тыс. лет, прежде чем на месте глубокой трещины, расщелившей земную кору, начали формироваться вулканические конусы. Общее погружение древнеэгейской суши во второй половине четвертичного периода привело к тому, что подножие будущего вулкана погрузилось ниже уровня моря и он стал островом. Однажды магматический канал оказался закупоренным застывшей лавой, как пробкой. Газы и расплавленная лава, поднимавшиеся с глубин в десятки километров, скопились в жерле вулкана почти у самой земной поверхности. Когда давление газов превысило прочность горных пород, раздался взрыв. Вулкан раскололся, и огромные массы пара и газов вырвались наружу, подняв на высоту 30—40 км огромные количества пепла. Свидетелем этого извержения

и является слой нижней тефры, обнаруженный океанологическими экспедициями. Выход из недр Земли на дневную поверхность огромных объемов лав, пепла и газов привел к образованию обширных пустот под вулканом, что вызвало обрушение прилежавших к вулкану участков земли. Это было приблизительно 25 тыс. лет назад.

После взрыва обычно наступает обрушение кровли подземной полости, откуда была выброшена эмульсия магмы. Возникшая воронкообразная впадина с изрезанными краями стала именоваться кальдерой (в переводе с португальского — котел). Впервые этот термин применительно к вулканам употребил 150 лет назад известный немецкий ученый-геолог Л. фон Бух. Он так назвал огромный вулканический кратер на острове Пальме Канарского архипелага. Вот что писал Л. фон Бух об этом кратере: «Перед путешественником открывается бездна во всем ее величии. Едва ли где-нибудь в другом месте можно найти такую же ужасную пропасть. Середина кальдеры достигает 2257 футов в высоту; еще много выше находится подножие крутых скал, которые дают обрывы более чем в 4000 футов. Где же можно видеть что-либо подобное? Где величественные скалы окружают такую котловину?» *

С тех пор кальдерами стали именовать и все крупные отрицательные формы вулканического рельефа.

Х. Вильямс разделяет кальдеры на четыре главные группы: 1) взрывные; 2) образующиеся вследствие обрушения; 3) смещенные от взрыва и обрушения; 4) эрозионные. Наиболее распространена вторая группа, куда относятся кальдеры вулканов Кракатау, Катмай, Килауэа.

Эксплозивная (взрывная) кальдера образуется в результате взрыва. Примером может служить возникновение в 1888 г. кальдеры вулкана Бандая в Японии. После тысячелетнего перерыва в течение минуты произошло до 20 взрывов. Было выброшено более 1 км³ породы. Вершина и значительная часть северного склона вулкана были разрушены, возникла подковообразная впадина площадью 3,5 км². Внутри образовавшегося амфитеатра обнаружилось испускающее пары жерло вулкана в виде трещины, через которую поступал раскаленный материал.

* Цит. по: *Лучицкий И. В.* Основы палеовулканологии. М., 1970.

Иначе образуется кальдера обрушения. Камера, где накапливалась взрывная эмульсия, в отличие от взрывной, находилась глубже. Такие магматические очаги расположены на сравнительно небольшой глубине: под Везувием — 6 км; Килауэа — 4; Михара — 4—5; Авачей — 3—5 км; радиус такого магматического очага — до 3 км, объем — около 100 км³.

После взрыва и опорожнения камеры происходило обрушение кровли. Кальдеры этого типа больше по размерам и образуются они при самых сильных взрывах.

Новый цикл извержения Санторина начался в центре образовавшейся кальдеры. Постепенное заполнение ее вулканическими лавами привело к возрождению острова. Сначала возникли небольшие вулканические островки (Акротини, Лумарави, Фанари) на юге древней кальдеры. Затем центр активности сместился на север — возник крупный остров Тира с высотой вулканического конуса около 1600 м.

Постепенно большой остров сросся с малыми островками, расположенными южнее. После достаточно сильного извержения, давшего мощные накопления пемзы, вулкан Тира угас. Лишь на самом севере продолжал жить вулкан Перистер. В это время на западе вырос еще один крупный конус — вулкан Симандир, завершивший формирование всего вулканического острова.

Перед катастрофой, образовавшей верхнюю теффу, Санторин представлял сложную группу сросшихся друг с другом вулканических конусов, расположенных преимущественно по его периферии. Как была устроена до катастрофы центральная часть Санторинского архипелага, нам доподлинно не известно. После катастрофы возникла кальдера обрушения и большая часть острова рухнула в воду (рис. 10). Возможно, внутренняя часть Санторинского архипелага и до катастрофы частично представляла собой лагуну или же равнинную территорию, образовавшуюся за счет сноса вулканических продуктов с вулканической горной цепи, обрамлявшей остров. По крайней мере, такое допущение представляется более вероятным, чем предположение, что всю центральную часть Санторинского архипелага занимал вулканический конус. В пользу такой точки зрения свидетельствует анализ вулканических выбросов, непосредственно предшествовавших катастрофе. Мы сейчас знаем,

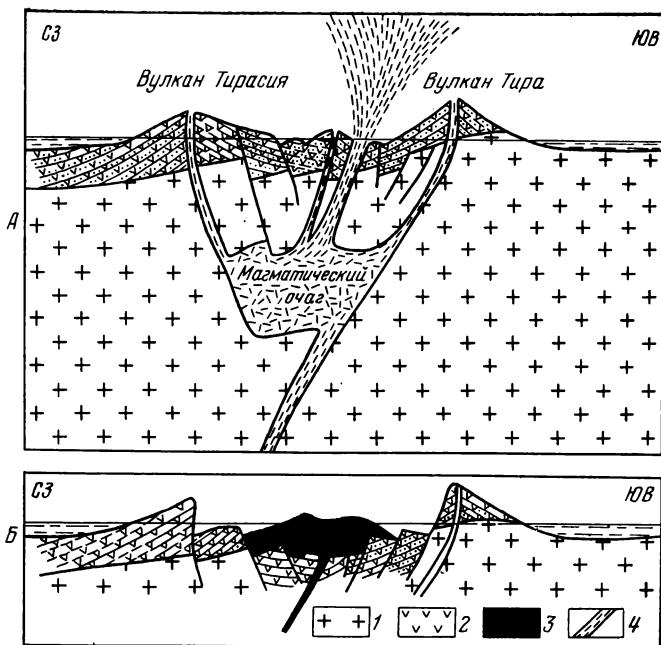


Рис. 10. Схематические геологические разрезы через Санторинский вулканический архипелаг по линии о. Тирасия—Неа-Каймени—Тира

А — в начале минойского извержения. По краям древней кальдеры расположены вулканы. На глубине возник новый магматический очаг. Давление в нем превысило прочность пород и произошел взрыв и выброс раскаленной эмульсии. Б — опорожнившаяся магматическая камера вызвала обрушение ее кровли. На поверхности возникшей кальдеры с 197 г. до н. э. началось образование молодых вулканов. 1 — породы древнего фундамента (сланцы, метаморфизованные известняки); 2 — лавы и туфы доминионских извержений; 3 — лава послеминейских извержений; 4 — разломы

что извержение, сопровождавшееся образованием современной кальдеры Санторина, не было мгновенным. Геологические наблюдения свидетельствуют, что первые проявления вулканизма не предвещали катастроф. Интенсивность постепенно возрастала. Х. Рекк подразделяет накопившиеся в процессе извержения выбросы пемзы на три слоя. Нижняя, «розовая», пемза извергалась при более

низкой температуре. Характер распределения ее толщины и размеров зерен позволяет предположить, что в период ее образования действовали одна или несколько жерловин в северной части острова. Средняя группа слоев пемзы, встреченная на юге и на востоке Тиры, отличается резко выраженной неправильной слоистостью. Тонкий материал плохо отсортирован и сложно переслаивается с грубым. Это указывает на серию слабых и умеренных взрывных извержений, разделенных спокойными интервалами. Отсутствие обломков древних лав свидетельствует об активности прежних жерл.

Выброс огромных масс богатой газами магмы неизбежно вызвал обрушение кровли подземного резервуара. Процесс этот мог начаться еще во время извержений, но сильнее всего проявился вскоре после их окончания.

Анализируя причины образования кальдеры Санторина, Рекк обратил внимание на то, что общий план кальдеры в первом приближении имеет форму прямоугольника, что указывает на определяющую роль в ее образовании разломов меридионального и широтного направления. Многие частные конусы расположены по краям этого параллелограмма. Далее Рекк отметил округлые овалы на ее краях, образующие зубчатый характер линии обрушения. Центры многих дугообразно изогнутых ниш совпадают с жерлами прежних вулканов. Отсюда исследователь сделал вывод, что удаление магмы из-под вулканических конусов вызвало появление кольцевых трещин. Вероятно, каждый из конусов Санторинского архипелага располагался под единым обширным куполом, прикрывавшим сверху магматический резервуар. Общее опускание уровня магмы в резервуаре должно было вызвать обрушение кровли. Это обрушение скорее должно было начаться под отдельными частными конусами, где вес кровли был больше. Обрушению кальдеры способствовало также значительное число радиальных и диагональных разломов.

Форма дна кальдеры Санторина, по мнению Х. Вильямса, имеет типичные черты провального, а не взрывного происхождения. На дне не обнаружено воронкообразных впадин. Подводный выступ, ограниченный двумя параллельными разломами, разделяет кальдеру на две части: более глубокую северную и более мелкую южную. В обеих впадинах прослежены также радиальные рвы, ограниченные разломами.

Минойское извержение не было последней страницей в истории Санторина. Вулкан молчал 1200 лет. Потребовалось время, чтобы на глубине под ним скопились новые порции лавы и газов. Но вот в 197 г. до п. э. Санторин заговорил вновь. В центре его кальдеры показался над поверхностью воды остров Палеа-Каймени. Началось новое заполнение кальдеры вулканическим материалом. М. Неймайр писал, что с этого времени наблюдался ряд грозных извержений, которые иногда вызывали появление новых островов, скоро опять бесследно пропадавших, а иногда способствовали увеличению размеров Палеа-Каймени. Так, например, в 726 г. этот остров увеличился в объеме, а в 1457 г. часть его была разрушена. После периода покоя, продолжавшегося 847 лет, извержение случилось в 1573 г., после которого выдвинулся остров Микро-Каймени. Подводное же извержение в 1650 г. вне кольцевого вала вблизи Санторина образовало мель Колумба. Необычайно сильный вулканический процесс происходил в центре кольца в 1707 г.; он не прерывался в течение пяти лет и послужил причиной возникновения Неа-Каймени — самого большого из внутренних островов группы.

Период покоя продлился затем до января 1886 г., когда началось извержение, давшее начало последнему периоду деятельности вулкана: 26 января 1886 г. стали катиться камни с древнего конуса Неа-Каймени; 30 января количество камней увеличилось. Жители острова заметили, что во многих местах бухты вода стала заметно теплее, чем прежде. Скоро из воды поднялись облака паров, распространявшие запах серы. На следующий день пар стал вырываться из воды с шумом, часто слышался легкий подземный гул. В это же время неподалеку от бухты появилась в земле трещина. Ощущалось слабое, но продолжительное трясение земли, вследствие чего многие дома в деревушках архипелага дали трещины. Перепуганные жители, ища спасения, перебрались на самый большой из островов — Тиру.

1 февраля вулканическая деятельность усилилась, а около полудня посредине бухты показалась из воды черная зубчатая скала, окутанная белым паром, давшая начало острову Георгиос, который 5 февраля присоединился к Неа-Каймени. Ночью над возникшим островом видно было красное зарево. Температура воды в море продолжала повышаться. Так, у острова Неа-Каймени она под-

нялась до 46° , а около только что возникшего острова достигла 84° С.

13 февраля после сильного подводного гула на поверхности воды показался еще один остров, названный Афрoэсса. Наконец, 20 февраля подводное извержение достигло максимума. На Георгиосе раздался ужасный взрыв. Огромный столб пепла и пара поднялся на высоту нескольких сотен метров, а вылетающие из моря раскаленные куски лавы поднимались вверх не менее чем на 500 м.

Скоро возник третий остров, который затем составил одно целое с Афрoэссой. На протяжении мая выдвинулись острова Майонизи. Извержения продолжались в течение года, причем периоды усиления вулканической деятельности чередовались с периодами относительного затишья. Затем наступил относительный покой, но в ослабленном виде вулкан продолжает действовать и до настоящего времени.

Все извержения Санторина, известные в историческое время, описывались как катастрофические для населения, жившего на этом вулканическом архипелаге. Излияния лавы и сильные взрывы газов часто сопровождалась цунами, вызывавшими сильные разрушения на берегах Эгейского моря.

Подчеркнем, что самое сильное (минойское) извержение Санторина не было известно ни в классическую эпоху, ни в средние века. Лишь изучение геологического строения острова Тиры, начатое в конце прошлого века, да недавние океанологические исследования в Восточном Средиземноморье позволили установить это грандиозное геологическое явление.

ГИБЕЛЬ ПОМПЕЙ

Сохранилось любопытное письмо римского ученого Плиния Младшего о грозном извержении Везувия, которое произошло в 79 г. н. э. и засыпало пеплом города Помпей, Геркуланум и Стабию. Первым его предвестником было землетрясение в 63 г. Оно превратило все окрестности Везувия в пустыню и разрушило часть Помпей. Город скоро вновь отстроился, но его ждала еще более ужасная катастрофа. В 79 г. началось извержение Везувия. Вот как описывает это Плиний Младший, извещая римского историка Тацита о

смерти своего дяди, знаменитого естествоиспытателя Плиния Старшего, погибшего при извержении: «24-го августа около часа дня в стороне Везувия показалось облако необычайной величины... по своей форме оно напоминало дерево, именно сосну, ибо оно равномерно вытянулось вверх очень высоким стволом и затем расширилось на несколько ветвей... Спустя некоторое время на землю стал падать дождь из пепла и куски пемзы, обожженные и растрескавшиеся от жары; море сильно обмелело. Между тем из Везувия в некоторых местах вырывались широкие языки пламени и поднимался огромный столб огня, блеск и яркость которых увеличивались вследствие окружающей темноты»*. Подземные толчки становились все сильнее, а когда извержение вулканического пепла достигло своей наибольшей силы, они прекратились. После этого из кратера стали выбрасываться пепел и камни, так что пепельное облако закрыло солнце и днем наступила тьма. «Эту тьму,— пишет Плиний,— нельзя было сравнить с темнотой безлунной облачной ночи; она скорее походила на тьму, которая наступает в комнате, когда погасят свет». Количество падавшего пепла было так велико, что даже в нескольких километрах от Везувия «часто нужно было вставать и отряхивать пепел: иначе он засыпал бы человека и придавил бы его своей тяжестью; все предметы покрылись пеплом, как снегом». Потоки дождя, низвергнувшиеся из «соснообразного» облака, превратили пепел в жидкую грязь; она ручьями текла по склонам горы и образовала громадные массы туфа, который залил всю окрестность Везувия.

Со времени разрушения Помпей и до XVII в. насчитывается восемь извержений Везувия, не отличавшихся большой силой. В 1631 г. произошло сильное извержение и лавовый поток залил всю окрестность, разрушив несколько деревень. После этого вулкан относительно затих. Сильное извержение произошло лишь в 1794 г. Вот как описывает его Л. фон Бух: «В ночь на 12-е июня произошло страшное землетрясение, а затем с утра до вечера во всей Кампании земля колебалась, подобно морским волнам... Спустя три дня землетрясение возобновилось снова, и 15-го июня послышался страшный подземный удар... Вдруг небо озарилось красным пламенем и светя-

* Цит. по: Реклю Э. Земля. М., 1914, т. 5, с. 9.

щимися парами. У подножия конуса Везувия образовалась трещина... с горы доносился глухой, но сильный шум, точно рев водопада, низвергающегося в пропасть. Гора, не переставая, колебалась, а спустя четверть часа землетрясение усилилось... Люди не чувствовали под собой твердой почвы, воздух был весь охвачен пламенем, со всех сторон неслись страшные, никогда не слыханные звуки. Пораженный ужасом народ бросился в церкви... но природа не внимала мольбам; в вулкане появлялись все новые отверстия, и со страшной силой и ревом вырывались новые потоки лавы. Дым, пламя и пары поднимались выше облаков и разливались во все стороны в виде огромной сосны. После полуночи непрерывный шум прекратился; земля перестала трястись, а гора — колебаться; лава выливалась из кратера через небольшие промежутки времени... взрывы следовали все реже, но их сила удвоилась... После полуночи по ту сторону вулкана небо вдруг озарилось ярким светом. Лава, произведшая опустошения с южной стороны горы, устремилась теперь по северным склонам в широкое ущелье.

В окрестностях Неаполя лава широкой рекой быстро неслась по склонам. Жители местечек Резины, Портичи, Торре-дель-Греко и других с ужасом следили за каждым движением огненной реки, угрожавшей то тому, то другому селению... Вдруг лава устремилась на Резину и Портичи. В Торре-дель-Греко все население бросилось в церковь, благодаря бога за спасение; в порыве радости они забыли о той неизбежной гибели, которая ожидала их соседей. Но лава встретила на своем пути глубокий ров и снова изменила направление, устремившись на несчастный Торре-дель-Греко, который считал себя уже спасенным. Огненный поток с яростью понесся теперь по крутым склонам и, не дробясь на рукава, в виде реки в 2000 футов шириною достиг цветущего города. Все восемнадцатитысячное население бросилось к морю, ища там спасения. С берега было видно, как из лавы над крышами залитых ею домов поднимались столбы черного дыма и огромные огненные языки, точно молнии. С шумом падали дворцы и церкви, и страшно гремела гора. Через несколько часов от города не осталось и следа и почти все жители погибли в огненном потоке. Даже море было бессильно остановить лаву; нижние части лавовых потоков застывали в воде, а верхние текли по ним. На боль-

шом расстоянии вода кипела в море, и сварившиеся в воде рыбы большими кучами плавали на поверхности воды.

Наступил следующий день. Огонь более уже не вырывался из кратера, но горы не было еще видно. Черное густое облако лежало над нею и мрачным покровом растилалось над заливом и над морем. В Неаполе и его окрестностях падал пепел; он покрывал траву и деревья, дома и улицы. Солнце было лишено блеска и света, и день напоминал сумрак утренней зари. Только на западе виднелась светлая полоса, но тем мрачнее казалась тьма, окутывавшая город... Мало-помалу извержение прекратилось. Лава стала затвердевать; во многих местах она дала трещины, и из этих трещин стремительно поднимались пары, насыщенные поваренной солью; по краям же трещин виднелось местами ярко светящееся пламя. Слышался непрерывный шум, напоминавший раскаты отдаленного грома, и молнии, прорезывая черные тучи падающего из вулкана дождя, нарушали ночной мрак. При их свете было видно, что эти огромные массы вырывались из большого кратера на вершине горы. Они поднимались густым черным облаком и расплывались на высоте. Тяжелые обломки камней падали обратно в кратер. За первым облаком следовало второе и третье и т. д.; все они поднимались на невероятную высоту... По временам гора казалась одетой венцом облаков, расположившихся в каком-то своеобразном порядке». *

Это извержение Везувия продолжалось 10 дней; только 26 июня в Неаполе стал оседать не темно-серый пепел, а почти белый. Опыт прежних лет показывал, что такое явление предвещает конец извержения. Действительно, скоро Везувий затих, и из его кратера выходили лишь клубы дыма. Пепел падал еще несколько дней.

Грандиозные извержения Везувия называют плинианскими (в честь Плиния Младшего, описавшего первый в истории человечества пример такого извержения).

При этих извержениях разрушаются вершины гор и на огромную высоту поднимаются миллионы тонн пепла и лапиллий (вулканических бомб). Над вулканом образуется темный столб с плоской вершиной, напоминающий сосну — знаменитые пинии.

* Цит. по: *Реклю Э.* Указ. соч., с. 12, 13.

ИЗВЕРЖЕНИЕ ТАМБОРА

О невероятной силе вулканических катастроф можно судить по двум грандиозным извержениям, происшедшим в прошлом веке на Зондском архипелаге.

В 1815 г. на острове Сумбава в Индонезии произошло грандиозное извержение вулкана Тамбора. О его пробуждении в 1812 г. возвестили первые струи газа близ вершины вулкана. Впоследствии они становились плотнее и темнее, а 5 апреля 1815 г. произошел сильный взрыв. Гул разнесся на 1400 км; все небо покрылось зловещей черной пеленой. Лавины пепла обрушились не только на остров Сумбаву, но и на Ломбок, Бали, Мадuru и Яву. Новый пароксизм был отмечен 10, 11 и 12 апреля, когда взрывы ощущались на расстоянии 1750 км от Тамборы. В воздух были выброшены колоссальные массы пепла, песка и вулканической пыли. В течение трех дней территория, равная Франции, на которой проживали миллионы людей, была во власти крошечной тьмы. Из кратера на расстояние более 40 км выбрасывались камни весом до 5 кг. На острове Ломбок слой пепла достигал 60 см. Цветущие сады и поля были превращены в безжизненную пустыню. Так описывает Г. Тазиев это извержение.

Высота горы первоначально была 4000 м. После извержения она уменьшилась до 2850 м. Около 100 км³ горных пород было обращено в пыль и выброшено в атмосферу. На месте исчезнувшей вершины возник огромный кратер размером 6×6,5 км и глубиной 700 м. Кальдера вулкана Тамбора при своем зарождении погубила 92 тыс. человек.

ВЗРЫВ КРАКАТАУ

Другая гигантская катастрофа произошла в Зондском архипелаге в 1883 г.: взорвался вулкан Кракатау. До извержения это был небольшой архипелаг островов, самым крупным из которых был Кракатау размером 9×5 км. Он состоял из трех сросшихся кратеров: Раката (800 м) — на юге, Данан (450 м) — в центре, Пербуатан (120 м) — в северной части острова. Северо-западнее находился еще один, меньший по размеру остров, известный под названием Ферлейтеп (Пустынный), а к востоку остров Ланг (Длинный), а также несколько совсем небольших остро-

вов. Весь архипелаг представлял собой остатки вулкана высотой около 2 тыс. м, разрушенного еще в доисторические времена.

О начале бурной деятельности вулкана нам ничего не известно — острова Кракатау были пустынные, лишь иногда туда заезжали рыбаки с острова Суматры. Первые наблюдения были сделаны с кораблей, плывших по Зондскому проливу, они относятся уже к тому времени, когда происходили сильные извержения. 20 мая экипаж германского военного судна «Елизавета» заметил грибообразное облако, выходящее из кратера; оно достигало 11 тыс. м высоты. Несмотря на то что до Кракатау было еще далеко, пепел сыпался на палубу судна. Эти явления продолжались несколько дней, их наблюдали и с других судов, а также с западного берега Явы. На всем пространстве, вплоть до Батавии (ныне Джакарта), ощущались подземные толчки, были слышны взрывы. Пошел небольшой пепловый дождь.

27 мая Кракатау осмотрели некоторые жители Батавии. Оказалось, что в середине древнего кольцевого кратера Пербуатана каждые 5—10 мин. повторялись взрывы, столбы паров и пепла поднимались на высоту 2—3 тыс. м. Деревья были обсыпаны пемзой, словно снегом.

В следующие дни сила извержения несколько ослабла. До самой катастрофы, которая произошла в конце августа, лишь временами происходили сильные взрывы. В середине июня процесс возобновился со страшной силой. 24 июня скалы Пербуатана скрылись вследствие расширения кратера. 11 августа капитан одного из кораблей обнаружил уже три больших кратера и массу мелких, также извергавших пары и пепел. После этого пепельный дождь стал усиливаться, а 26—27 августа разразилась катастрофа. Ее можно было наблюдать лишь с судов, находившихся невдалеке, и с берегов Явы и Суматры. Если бы на Кракатау и были жители, то в этот страшный день не уцелел бы ни один человек, так как даже на острове Себеси, лежащем на расстоянии 20 км от вулкана, погибло все население.

Утро 26 августа было ясное. Около часа дня стал слышен гул, который распространился до Батавии; ночью он настолько усилился, что в городе невозможно было уснуть. Около двух часов пополудни с корабля «Медей», плывшего по Зондскому проливу, заметили

столбы пепла 27—33 км высотой. В 17 час. произошло первое цунами, вероятно, вызванное обрушением кратера. К вечеру в селении Лампоше на острове Суматра пошел слабый пепельный дождь. В Анжере и в некоторых близких к нему селениях, расположенных на побережье острова Явы, сразу же после заката солнца воцарился глубокий мрак. Слышны были глухие звуки. Небольшие суда заливались волнами или выбрасывались на сушу; вода несколько раз устремлялась на берега и уничтожила много деревень. Густые тучи пепла покрыли палубы кораблей. Низвергались громадные глыбы. К двум часам ночи пепел на палубе судна «Бербис» образовал слой метровой толщины. Землю охватил непроницаемый мрак. На горе Кракатау раздавался грохот и ежеминутно показывались яркие молнии. В атмосфере ощущалось электричество; на снастях и на мачтах были видны огоньки св. Эльма, извивавшиеся подобно «огненным змеям». Рулевой на «Бербисе» едва мог устоять на своем месте — дотронувшись до металлических частей руля, он почувствовал сильный удар тока.

Утром 27 августа небо стало яснее, но скоро вновь все кругом покрылось густым мраком, продолжавшимся 18 час. Громадные массы пепла, пемзы, шлаков и тягучей, подобной тесту, грязи направились в Зондский пролив, к островам Яве и Суматре. В 6 час. утра волны устремились на низменные берега.

Около 10 час. утра было самое ужасное время: раздался колоссальный взрыв. Газы, пары, пепел и обломки пород были подняты на высоту 70—80 км и рассеялись по площади около 1 млн. км².

Вызванные взрывом чудовищные волны вздымались наподобие гор, доходя до 30 м в высоту; одна за другой низвергались они на острова. Города, деревни, леса, железнодорожная насыпь, проходящая на Яве вдоль берега,— все было стерто с лица земли страшным потоком. Города Анжер, Бенгам, Мерак и другие были разрушены. Все население островов Себеси и Серами было погребено. Только немногим удалось каким-то чудом избежать этой печальной участи: первая волна, хлынувшая на землю, увлекла с собой людей, но некоторых потом выбросила на сушу невредимыми.

Что происходило дальше с оставшимися в живых, трудно описать. В ужасе жители напрягали все свои

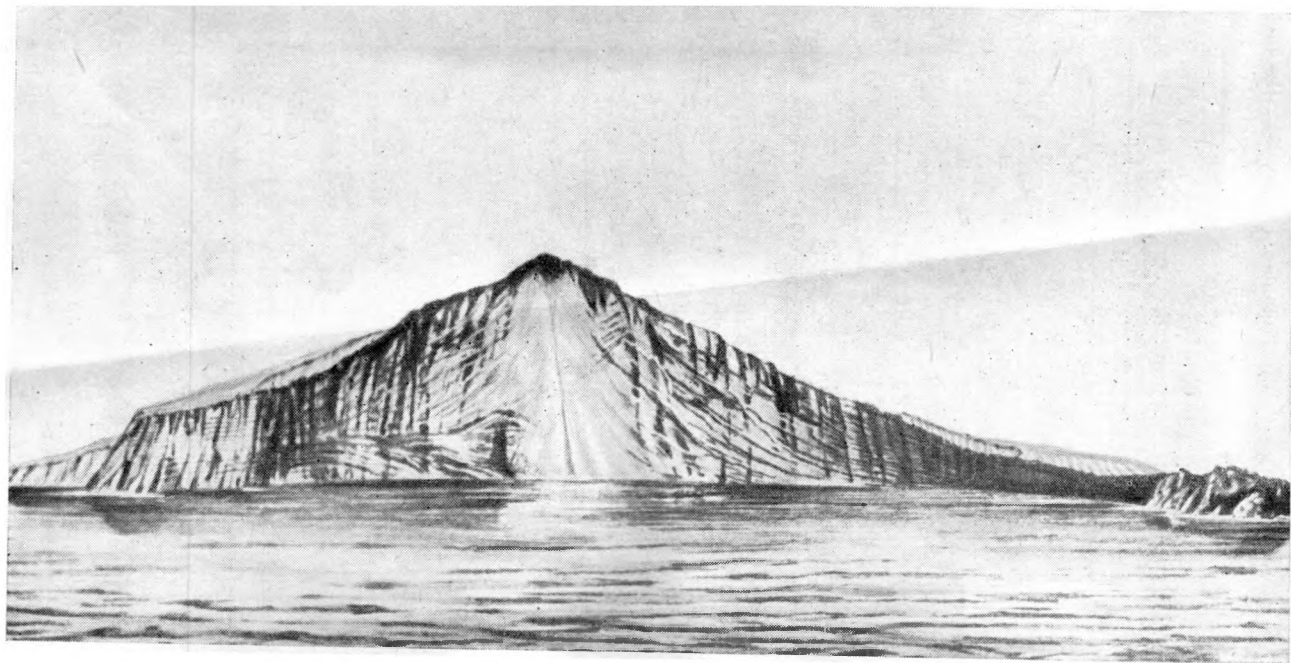


Рис. 11. Кракатау после взрыва

силы, ища спасения. Тьма заволочла все. В 10 час. 54 мин. произошел второй взрыв, примерно такой же гигантский, как и за час до этого, но не сопровождавшийся цунами. Следующий взрыв со слабым цунами отмечен в 16 час. 35 мин. Пепельный дождь, взрывы, буря и волнение на море не прекращались всю ночь, но сила их постепенно ослабевала. Утром 28 августа небо опять стало светлее, извержение ослабело, но еще не кончилось. Небольшие взрывы происходили в сентябре и в октябре, а 20 февраля 1884 г. было отмечено последнее извержение.

Берега Суматры и Явы изменились до неузнаваемости. Знакомые места можно было найти разве только по положению, но никак не по внешнему виду. Богатая тропическая растительность исчезла бесследно везде, где только появлялись морские волны. Земля была совершенно голой; серая грязь и продукты извержений, вырванные с корнями деревья, остатки зданий, трупы людей и животных усеяли ее. На поверхность Зондского пролива всплывали массы пемзы. По официальным данным, число погибших равнялось приблизительно 40 тыс. человек. На месте острова Кракатау разлилось море, и из воды выходил на поверхность лишь старый конус вулкана, который треснул пополам, одна его половина упала в море, а другая открыла поразительную картину страшной лаборатории подземных сил (рис. 11).

Волна в море (цунами), вызванная взрывом Кракатау, была настолько мощной, что обошла всю планету. На всем побережье Индийского океана наблюдались волны, более или менее сильные в зависимости от расстояния до Кракатау. Волнение распространилось также по всему Тихому океану и достигло западных берегов Америки. В Атлантическом океане цунами, вызванное взрывом в Зондском архипелаге, наблюдалось у берегов Франции и на Панамском перешейке.

Грохот взрыва Кракатау слышался на огромном расстоянии. В Байдензорге, на острове Ява, в 150 км от вулкана, удар был такой сильный, что окна и двери во многих домах сорвались с петель, а со стен обваливалась штукатурка. Грохот извержения был слышен в городе Маниле, отстоящем на 2 тыс. км от Кракатау, а также в Центральной Австралии, на расстоянии 3600 км, и на острове Мадагаскаре в 4775 км от Кракатау (рис. 12).

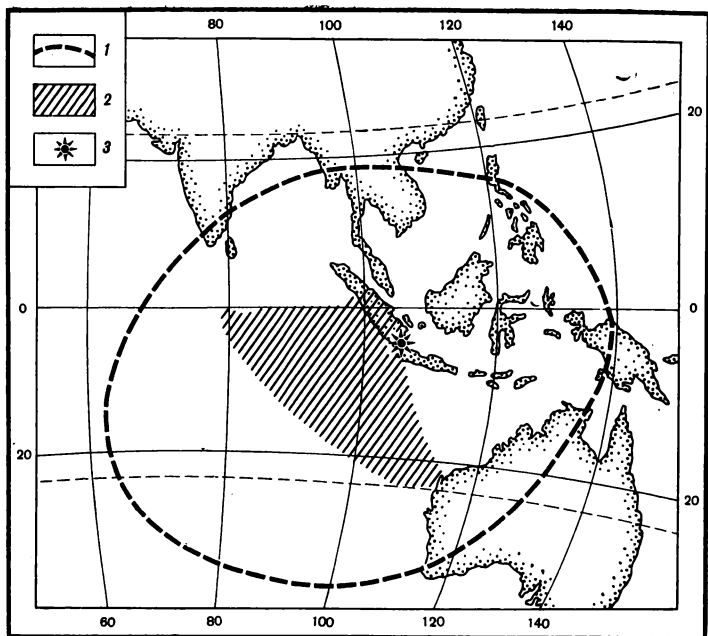


Рис. 12. Последствия взрыва Кракатау

1 — зона распространения звука взрыва; 2 — площадь пеплопада; 3 — вулкан Кракатау

В атмосфере также происходили бурные изменения. Вблизи Кракатау свирепствовали сильные ураганы. В Европе, в Северной Америке и в других частях света движение воздуха было отмечено метеорологическими приборами, и всюду замечалось сильное колебание барометра. Воздушная волна, вызванная извержением Кракатау, обошла земной шар три раза, что было доказано барометрическими наблюдениями в разных местах.

В Берлине первая воздушная волна наблюдалась через 10 час. после катастрофы. Если допустить, что она пришла по кратчайшему пути, то скорость её движения равнялась приблизительно 1000 км/ч. Через 16 час. опять произошло колебание барометра. Его вызвала та же воздушная волна, но пришедшая с другой стороны земного шара, пройдя над Америкой. Двигаясь дальше,

волна вновь обогнула земной шар и через 36 час. вернулась в Берлин. Волна, совершавшая свой путь через Америку, вторично появилась в Европе через 34—35 час. Такое ее ускорение объясняют тем, что в верхних слоях атмосферы воздушные токи направлены преимущественно с запада на восток. В третий раз это движение воздуха дошло до Берлина через 37 час. Потом сила воздушных колебаний постепенно уменьшилась.

За всю историю человечества не упоминалось ни об одном извержении, которое отличалось бы такими же сильными звуковыми явлениями.

С извержением вулкана Кракатау связано еще одно замечательное явление. Вскоре после катастрофы, еще в конце августа, солнце приняло своеобразную зеленую окраску. Сначала это явление было заметно только вблизи Кракатау, а затем и на значительном удалении от него. Оно наблюдалось на Цейлоне, немного позже на острове Маврикий, потом на западном берегу Африки и, наконец, в Бразилии, в Центральной Америке и во многих других местах. Своеобразную окраску солнца объясняли скоплением мельчайших частиц вулканического пепла, которые носились в верхних слоях атмосферы.

В конце ноября 1883 г. в Европе было отмечено странное явление. При солнечном закате лучи солнца давали на небосклоне пурпурный отблеск, который не исчезал очень долго, после чего наступал полный мрак. Скоро отовсюду стали получать подобные известия. В некоторых местах это явление видели раньше, чем в Европе, но до извержения Кракатау оно не наблюдалось нигде.

Примерно в то же время во многих местах Европы прошел дождь из пыли и словно снегом покрыл землю. Исследование показало, что эта пыль состоит из мельчайших кристалликов, таких же как в пепле Кракатау.

Продукты извержения Кракатау состояли преимущественно из пемзы и мелкого пепла. Предполагают, что объем их доходил до 18 км³. На 6 км в радиусе вулкана изверженные породы нагромодили пласты толщиной 20—40 м. К северу от Кракатау, у острова Себеси, глубина моря до извержения составляла 36 м. После катастрофы здесь обнажились мели и все это пространство сделалось несудоходным для больших кораблей. В результате взрывов сохранилась только южная половина конуса Ракаты, а на месте остальной его части образовалась на

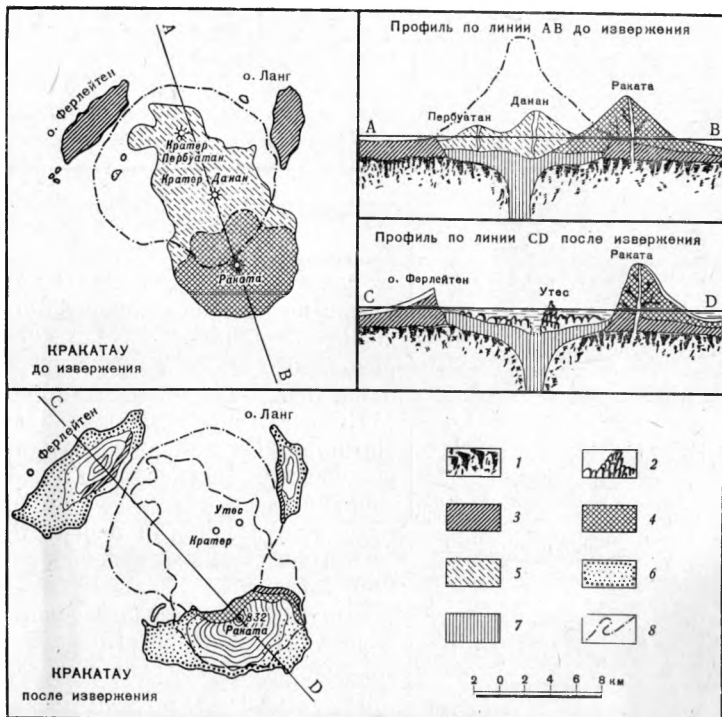


Рис. 13. Карты и профили Кракату до и после вулканического взрыва

1 — третичные отложения; 2 — новейшие отложения; 3 — древний андезит; 4 — базальт; 5 — новый андезит; 6 — продукты извержения 1883 г.; 7 — лава; 8 — контур древнего андезитового вулканического конуса

дне моря депрессия, состоящая из двух впадин: одна, глубиной до 120 м, находилась между островами Ланг и Ферлейтен; другая, глубиной до 300 м, с ровным дном — южнее.

Не только произошло изменение рельефа морского дна, но и возникли новые острова, а прежние увеличились в размере. На месте развалин Кракату продукты извержений образовали площадь 5 км². Остров Ланг увеличился на 0,3 км², Ферлейтен — более чем на 8 км², один островок скрылся — вероятно, был размыт волнами. Здесь же появились острова: Стреера площадью

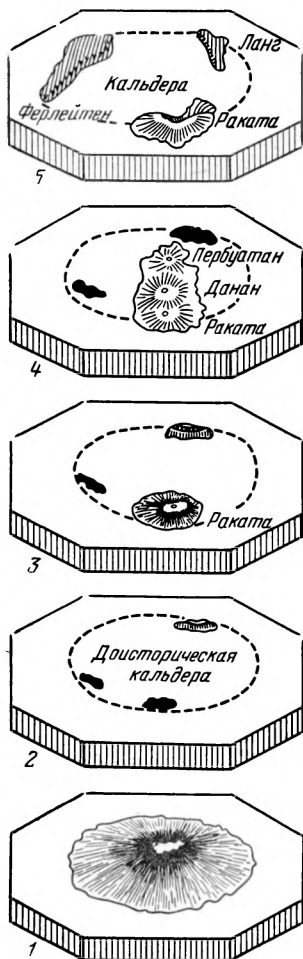


Рис. 14. Последовательные стадии образования кальдеры Кракатау (по Буларду)

1 — первичный андезитовый конус; 2 — после взрыва, сопровождавшегося обрушением; 3 — рост базальтового купола Раката; 4 — перед катастрофой 1883 г.; 5 — после катастрофы

3 км² и Кальмейера — 4 км². Оба они выступали над поверхностью моря лишь на несколько метров, по вскоре опять исчезли под водой.

Издали казалось, что острова дымятся. На самом же деле это был пар, поднимавшийся от высокотемпературной груды изверженных масс. Масса пемзы покрывала поверхность моря наподобие настоящих плавучих островов, которые на 2 м возвышались над поверхностью моря. У Суматры, при входе в заливы Лампонг и Семанка, пласты плавшей пемзы обладали такой мощностью, что самые большие суда с трудом могли прорезать их. Пепел занял площадь в 750 тыс. км².

Изучение геологического строения вулкана Кракатау, проведенное в последнее столетие, позволяет достаточно полно восстановить историю его развития. Общий вид современной кальдеры — кольцеобразной полосы пород, сохранившихся после взрыва, изображен на рис. 13. В истории формирования кальдеры Кракатау различают четыре периода (рис. 14). Первоначально на месте современной кальдеры возник вулканический конус, возвышавшийся над уровнем океана приблизительно на 2 тыс. м. Он был сложен так называемым «древним андезитом». Этот период развития кальдеры закончился обрушением центральной части конуса вулкана, от которого

остались три небольших островка на периферии кальдеры.

В течение второго периода на юго-востоке кальдеры возник новый конус Раката высотой до 800 м, сложенный преимущественно базальтами.

В третий период сформировались еще два небольших андезитовых конуса — Данан и Пербуатан. Все три конуса образовали сравнительно крупный остров. В 1670 г. из жерла Пербуатана излился поток лавы андезитового состава, после чего в течение 200 лет Кракатау молчал.

Четвертый период в жизни Кракатау — катастрофа в 1883 г.

Последняя стадия развития кальдеры Кракатау (после 1883 г.) связана с ростом нового вулканического конуса Анак-Кракатау, начавшимся в конце 1927 г. Извержения его происходили в начале 50-х годов и позднее. Так, в 1960 г. Анак-Кракатау выбрасывал тонкий пепловый материал и обломки до 2 м в поперечнике с интервалом от 5 до 10 мин. Три года спустя было замечено исчезновение кратерного озера и рост внутреннего конуса.

Хотя и в более слабом виде, вулкан Кракатау продолжает жить в настоящее время. Над кратером на несколько сот метров поднимается столб дыма, а по ночам видны выбросы раскаленных газов.

Возникшая после взрыва кальдера Кракатау состоит из двух бассейнов. Меньший из них расположен между островами Ланг и Ферлейтен и достигает глубины 70 м с двумя углублениями по 120 м. Вторая, более крупная, впадина размещается южнее. Ее максимальная глубина 279 м.

Образование кальдеры Кракатау объяснялось по-разному. Некоторые ученые предполагали, что кальдера возникла в результате гигантского взрыва и представляет не что иное, как взрывную воронку, напоминающую до некоторой степени воронку от взрыва фугасной бомбы. Однако сейчас большинство исследователей склоняются к выводу, что кальдера Кракатау возникла вследствие обрушения кровли вулканической камеры, вызванного удалением из этой камеры огромных объемов вулканического материала. В этом отношении образование кальдеры несколько напоминает обрушение земной поверхности под горными выработками, из которых удалена порода.

Подтверждением последней точки зрения служат повторные промеры кальдеры Кракатау. Измерения, произ-

веденные в 1923 г., т. е. спустя 40 лет после катастрофы, показали, что в двух местах, отличавшихся наибольшими глубинами, дно углубилось с 162 и 210 до 179 и 274 м. В других местах глубины возросли с 80 до 250 м и т. д. Анализ продольного профиля через кальдеру показал, что опускание дна произошло не в виде конических поверхностей скольжения, а почти вертикально. Причиной таких перемещений считают уменьшение объема подземной камеры вследствие кристаллизации оставшейся магмы или ее перемещение к новому жерлу вулкана Анак-Кракатау, начавшего извергаться в 1927 г. Возможно также, что это результат «приспособления» приповерхностных блоков к новому подземному рельефу опорожненной вулканической камеры.

СМЕРТОНОСНАЯ ТУЧА

Описание одной из вулканических катастроф мы находим у известного геолога — академика А. П. Павлова. В северной части острова Мартиника, расположенного в Карибском море, находился вулкан Мон-Пеле, кратер которого был заполнен водой. Более 50 лет вулкан безмолвствовал. И вот в начале мая 1902 г. послышался гул и стали ощущаться подземные толчки. Это возбудило любопытство жителей; многие поднялись на вершину и увидели, что вода там кипит. Деятельность вулкана все усиливалась. Ночью был виден яркий свет на вершине, в горе слышен шум; ветер приносил пепел. Утром 16 мая город покрыла серая пыль. Подземный шум и дождь пепла становились все сильнее. 17 мая западный склон вулкана покрылся таким густым облаком пепла, что паромход не мог пристать к берегу. Пепел, мелкий, светлосерого цвета, напоминал муку или цемент. Деревья покрылись им, как снегом. Животные, лишенные пищи, умирали. Мертвые птицы валялись на дорогах.

18 мая поток горячей грязи, спустившийся по руслу реки Белой, затопил сахарный завод на берегу моря. В книге А. П. Павлова приводится рассказ очевидца об этой катастрофе: «В 10 минут первого слышу крики. Бьют тревогу. Люди бегут мимо моего дома и в ужасе кричат: „Гора идет!“ И я слышу шум, который нельзя ни с чем сравнить, шум страшный, ну, просто дьявол на земле... и я выхожу, смотрю на гору... Над белыми облач-

ками пара с горы спускается с треском черная лавина более 10 м высотой и в 150 м шириной... Все изломано, потоплено... Мой сын, его жена, 30 человек, большое здание — все упесено лавиной. Они надвигаются бешеным натиском, эти черные волны, они надвигаются, как гром, и перед ними отступает море» *.

Вдоль реки Белой показались фумаролы — отдушины, выбрасывавшие горячие газы. В тот же день был обнаружен разрыв подводного телеграфного кабеля и в бухте показалась мертвая рыба, из чего заключили, что фумаролы открылись и на дне моря. Ночью на вершине был виден красный свет, отражавшийся в облаках пара.

21 мая утро было ясное и сравнительно спокойное; вулкан не проявлял особенной активности. Над ним поднимался столб серого пара, и тонкий пепел медленно падал на город. Но мало-помалу пепельный дождь все усиливался, и стало так темно, что пришлось зажигать лампы в домах. Затем разразилась внезапная катастрофа, и все 30 тыс. жителей Сен-Пьера погибли.

О том, что случилось, стало известно от тех, кто был за пределами города и области опустошения. Утром 21 мая вулкан сильно дымился. Над ним стояло белое серебристое облако, напоминавшее по форме цветную капусту. Потом вся гавань и город исчезли из виду в облаках черного дыма, слышался гул, слабые сотрясения почвы не прекращались. В 7 час. 50 мин. послышался оглушительный треск и за ним — несколько слабых раскатов. Облако, ставшее потом черным, окутанное сетью молний, валом покатилося с вулкана вниз по направлению к Сен-Пьеру (рис. 15). Атмосфера сделалась невыносимо жаркой, воздух обжигал легкие.

Край раскаленного облака захватил несколько экипажей, поднимавшихся на холм; задние исчезли бесследно, передние были поломаны, пассажиры контужены и обожжены, но остались живы.

Огненная туча так же быстро исчезла, как и появилась; и когда темнота рассеялась, от города не осталось ничего, кроме пылающих развалин. Особенно пострадала северная его часть, в южной кое-где уцелели стены домов.

* Павлов А. П. Вулканы, землетрясения, моря и реки. М., 1948, с. 53.

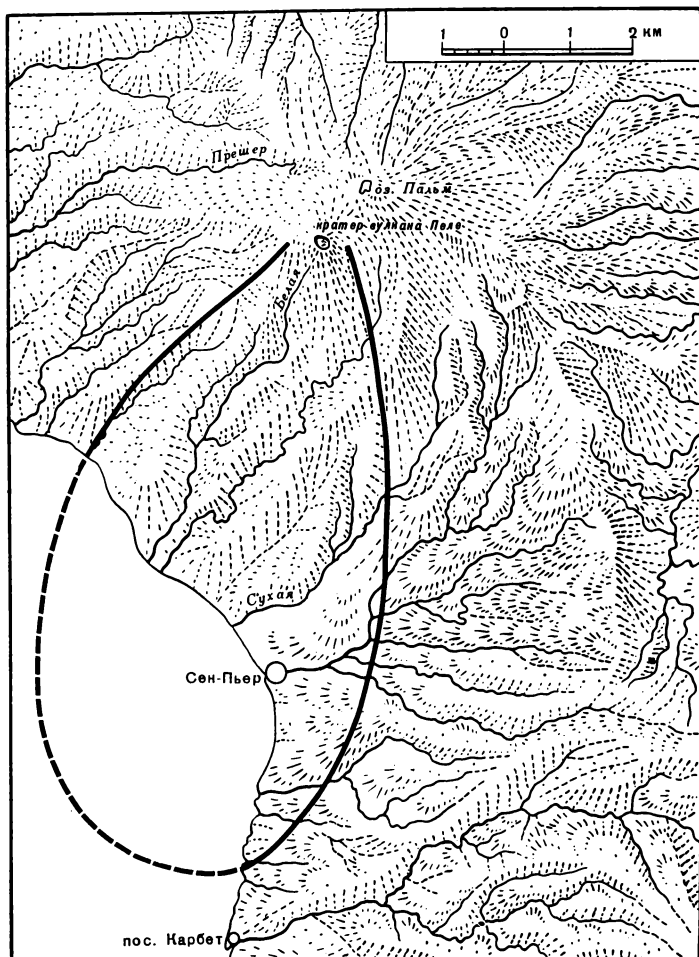


Рис. 15. Карта района кратера вулкана Пеле (по А. Лакруа)

Линией ограничена площадь опустошения

Из 18 судов, стоявших на якоре в гавани, уцелел только пароход «Роддан». Его капитан Фриман так описывает это ужасное время. В половине девятого он был в каюте; многие пассажиры стояли, облокотясь на борт, и смотрели на вулкан, выбрасывавший густые облака дыма и по временам снопы света. Вдруг Фриман услышал страшный грохот, и вслед за этим внезапный порыв ветра взволновал море и раскачал суда. Капитан, выскочив на палубу, успел закричать: «Смотрите!» — прежде чем обрушилась горячая лавина. По кораблю будто ударило огромным молотом, и лавовый дождь хлынул на палубу. Жар был так силен, воздух так удушлив, что многие бросились в море. Некоторые выползали из своих убежищ на палубу, чтобы вдохнуть воздуха, и обжигались горячим пеплом. Первой мыслью капитана было попытаться спасти пароход и оставшихся в живых членов экипажа. Он успел сбросить канаты и дать сигнал к полному ходу назад. Они столкнулись с горящим пароходом «Рорайма». Когда пароход выходил из порта, капитан оглянулся назад. Город был охвачен пламенем, люди в ужасе метались по улицам.

Фриман направил пароход к соседнему острову Санта-Лючия, и, когда пришел к пристани, на палубе был слой пепла в 6 см толщины. Половина экипажа и пассажиров были мертвы, остальные — со страшными ожогами. Все они умерли в течение следующих двух дней. Остались в живых только капитан и машинист.

А вот рассказ Г. Томсона, одного из пассажиров горевшего «Рорайма», мимо которого прошел «Роддан». На пароходе было 68 человек. Многие пассажиры и служащие были на палубе и наблюдали величественное зрелище. Один инженер с аппаратом в руках собирался фотографировать дымящуюся гору. Это было без нескольких минут 8.

Вдруг раздался страшный грохот и за ним взрыв, похожий на одновременный выстрел из тысячи больших пушек. Все небо в огне. Грохот на момент стих, и капитан Мюгга бросился на мостик, крича матросам: «Снять с якоря!» Но было уже поздно. Вихрь паров обрушился на суда, и лавина огня прошла по городу и бухте с силой урагана.

Г. Томсон бросился в каюту; пароход качался, мачты и трубы падали в воду. Глаза, уши, рот, платье тех, кто

был на палубе, были полны пепла или лавы, и тьма была до того густа, рев так силен, что бывшие на пароходе не могли ни видеть, ни слышать на расстоянии нескольких шагов, и все буквально задохались.

Сцена несколько мгновений была ужасна. К счастью, огненный ураган продолжался всего несколько минут. Атмосфера немного прояснилась, и дыхание стало свободнее. Раненые и уцелевшие должны были теперь бороться с пожаром, начавшимся в нескольких местах на пароходе. Крики раненых, просивших воды, раздирали душу; их страдания были ужасны. «Рорайму» не удалось спасти от пожара. Большая часть пассажиров и экипажа погибли. Несколько человек были спасены пароходом «Сюше», пришедшим из Фор-де-Франса часа в три после полудня.

Только 23 мая можно было приблизиться к городу. В бухте посреди обломков пристани и судов плавали трупы людей. «Рорайма» еще продолжала гореть с обоих концов. На месте города и покрытых цветущими садами и лесом склонов горы теперь расстилался серовато-белый, как бы снежный пейзаж. Растительность исчезла. Все окутал пепел, от берега моря до самой вершины горы, над которой взвивались густые клубы пара. Изредка встречались обугленные стволы без ветвей и листьев. На месте города, на протяжении 3 км вдоль берега, всюду торчали развалины домов и остатки стен, почерневших от пожара.

На главную улицу города проникнуть было невозможно. Приходилось идти по раскаленной золе. Только через два дня удалось попасть на главную улицу и в другие части города — характер разрушений не везде был одинаков. Театр, здание суда и другие дома, расположенные в северной части города, близ реки Рокселян, были совершенно разрушены, как бы смешаны с землей. Но деревянные части зданий и деревья в этой части города были мало обожжены, стеклянные вещи не расплавились, по-видимому, вследствие кратковременного действия горячего разрушительного урагана.

О силе урагана свидетельствуют развалины винокуренного завода — огромные резервуары этого завода с железными стенками в четверть дюйма толщиной были исковерканы и пробиты в нескольких местах камнями. В центральной и южной частях города механическое действие горячего урагана было слабее — уцелели стены не-

которых домов. Напротив, действие жара было несравненно сильнее: все деревянные части домов сгорели, деревья обуглились, стекло местами расплавилось, трупы людей были обожжены до неузнаваемости и обуглились. Из 30 тыс. жителей города Сен-Пьер спасся только один человек — преступник, сидевший в глухой каменной башне — тюрьме.

Вулкан Мон-Пеле, произведя страшную катастрофу 21 мая 1902 г., не прекратил своей деятельности. Он много раз выбрасывал и столбы пара, и жгучие тучи. 2 июня над развалинами города пронесся горячий вихрь, гораздо сильнее, чем первый. Он довершил разрушение. От собора, еще высоко поднимавшегося среди развалин города, теперь осталась груда камней. Новый покров пепла, камней и разных обломков прибавился к прежнему, отчасти уже размытому дождями. На месте некоторых участков города возникла покрытая пеплом пустыня.

Сильное извержение произошло 22 июня. Его наблюдал английский ученый Андерсон.

«Вдруг наше внимание привлекло появившееся над кратером черное облако... Оно не поднималось вверх, а держалось некоторое время на краю кратера у расщелины и долго сохраняло свою форму... Мы смотрели на него некоторое время и, наконец, заметили, что облако не стоит на месте, а катится вниз по склону горы, постепенно увеличиваясь в объеме. Чем дальше оно катилось, тем быстрее становилось его движение... Нельзя было сомневаться, что это пепельная туча и она идет прямо на нас.

Туча спустилась по склону горы. Она стала неизмеримо больше, но все еще имела округлую форму с вздувавшейся поверхностью. Она была черна, как смола, и сквозь нее сверкали полоски молний. Туча дошла до северного края бухты, и в нижней ее части, где черная масса соприкасалась с водой, была видна полоса непрерывно сверкавших молний. Быстрота движения тучи уменьшалась, ее поверхность волновалась все меньше — она превратилась в большой черный покров и нам уже не угрожала» *.

Подобное явление повторилось, но уже в ночной темноте. В кратере, из которого появилось облако, был виден слабый свет, постепенно усиливающийся. Докрасна рас-

* Цит. по: Павлов А. П. Вулканы, землетрясения..., с. 60.

каленные камни вылетали из кратера, падали на склон и катились вниз. Вдруг яркий свет озарил облачную массу над вулканом, из горы донесся продолжительный сердитый рев, и страшная лавина, вырвавшаяся из кратера, ринулась к морю. Она имела темно-красный цвет с более светлыми полосками, за которыми шел искристый след — по-видимому, горячие камни. 12 сентября было особенно сильное извержение, во время которого раскаленная туча захватила краем Красный холм, до тех пор не подвергавшийся опасности. При этом погибло 1500 человек.

На рубеже 1902—1903 гг. на вершине горы, выше кратера, стал заметен какой-то острый зубец или обелиск. В первый раз его обнаружили во время восхождения на вулкан в сентябре 1902 г. Кратер, на краю которого стояли смелые путешественники, освободился от пара, и из него поднимался метров на 50 вверх величественный каменный обелиск, со всех сторон изборожденный трещинами. Из трещин то спокойно, то со взрывом выходили клубы белых паров. При взрывах от скалы отваливались большие каменные глыбы и, падая в кратер к ее основанию, производили характерный шум.

В течение целого года гора выбрасывала вверх клубы пара, пепла и камни. Каменный обелиск, выдвинувшийся из середины кратера (рис. 16), достиг в высоту 400 м. Он постоянно изменялся по форме и величине: то верхушка его обвалится настолько, что он понизится на 15—30 м, то вновь выдвинется до прежней или даже большей высоты. Ночью он светился. Особенно ярко выделялись трещины и те места, откуда отрывались каменные глыбы, как будто внутри обелиска поднималась расплавленная светящаяся лава.

Извержение на острове Мартиника послужило причиной выделения так называемой пелейской активности. Все проявления, присущие этой разновидности вулканизма, — возникновение купола, лавового обелиска и палящей тучи обусловлены чрезвычайной вязкостью лавы, богатой кремнием. Появление купола объясняется тем, что из кратера медленно, почти незаметно для глаза поднимается густая, тестообразная масса породы, постепенно застывающая в виде колпака.

Обелиск — явление очень редкое — вырастает над куполом, как раскаленная болванка, выжатая из вальцов. Охлаждаясь, такие монолиты раскалываются на части и

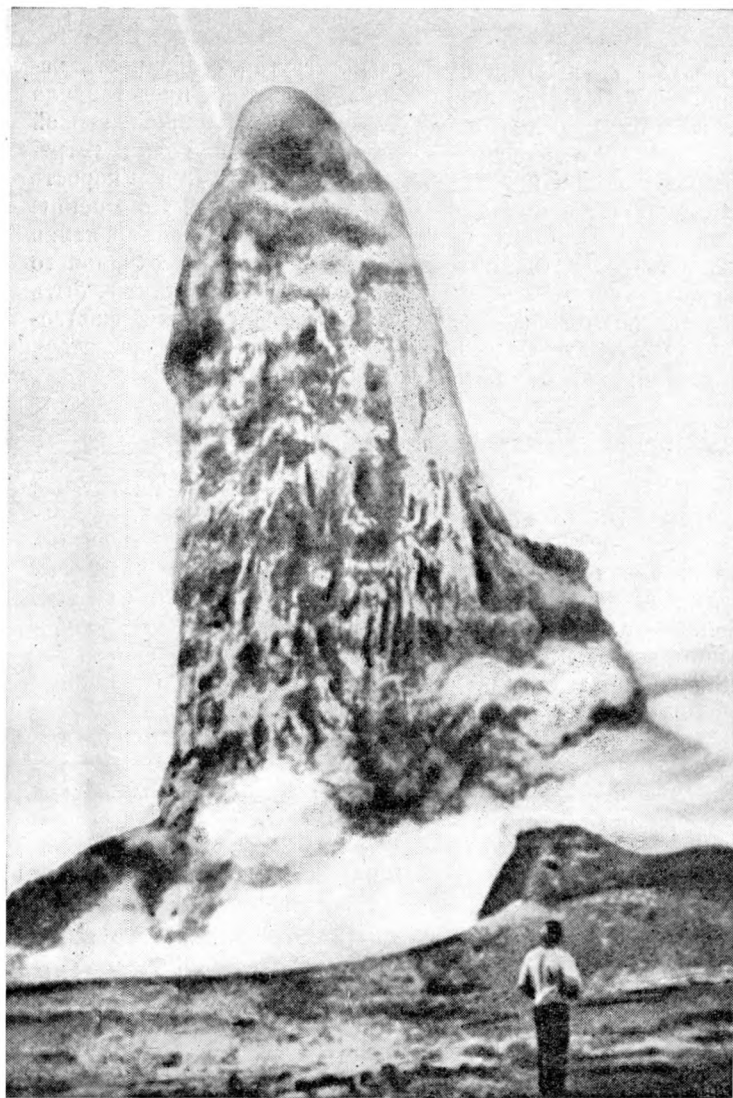


Рис. 16. Каменный обелиск, поднявшийся из вулкана Мон-Пеле после извержения

образуют груды огромных глыб. Другая особенность извержения на Мартинике — палящая туча представляла собой эмульсию из горящих газов и раскаленной лавовой пыли. Она вырвалась из чрева созревшего купола и устремилась вверх и в горизонтальном направлении. Скорость ее движения временами достигала 500 км/ч. По мнению известного вулканолога Г. Тазиева, такая невероятная скорость отчасти объясняется мощностью начального взрыва, отчасти — действием силы тяжести, а также, быть может, своего рода цепной реакцией, вызываемой растворенными в лаве газами, которые продолжают вырываться из любой, даже самой мельчайшей ее частицы.

САМОЕ СИЛЬНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ XX ВЕКА

На полуострове Камчатка, в центре Ключевской группы вулканов-гигантов, расположилась относительно небольшая по высоте сопка (3085 м), которая из-за своей невыразительности так и не получила имени и в каталогах вулканов фигурировала под названием Безымянной. Сопка эта считалась потухшим вулканом. О ее пробуждении возвестили подземные толчки, зарегистрированные на вулканологической станции Ключи, расположенной в 45 км от Безымянной. Извержение началось на заре 22 октября 1955 г. Из Ключей были замечены клубы белого дыма, появившиеся за восточным склоном Ключевского вулкана. Затем стал падать пепел. За несколько дней поднимавшийся над кратером темный султан из вулканических выбросов достиг высоты 8 км. В чудовищной туче ночью были видны огромные молнии. Взрывы, один сильнее другого, не прекращались в течение всего ноября. В отдельные дни пелена пепла, нависшая над вулканом, была настолько густой, что не пропускала солнечных лучей: в Ключах зажигали в домах лампы, а машины шли с включенными фарами. За месяц кратер вулкана расширился с 250 до 800 м.

В конце ноября активность вулкана понизилась, извержения происходили все реже и слабее, но в кратере начал расти купол из вязкой лавы, закрывший выход вулканическим газам. Давление в вулкане достигло такой силы, что давно затвердевший древний купол, примыкавший к вулкану, постепенно поднялся почти на 100 м и сместился к юго-востоку.

Накопец, 30 марта 1956 г. произошел гигантский взрыв. Над вулканом взметнулся косой огненный столб, клонившийся к востоку под углом 30° . Над ним тоже наклонно клубился черный дым, который спустя одну-две минуты закрыл вершины гор. Туча пепла, словно гигантский веер, устремилась вверх и в стороны, достигнув высоты около 40 км (рис. 17). В Усть-Камчатске, т. е. в 120 км от вулкана, эта туча заслонила весь горизонт. Она казалась непроницаемо черной, только светлые края ее в лучах заходящего солнца были ярко-золотистыми. Спустя четверть часа после взрыва заметили струю газа, взметнувшуюся над черным покрывалом. Она достигла высоты 45 км. Вскоре пепловая туча накрыла вулканологическую станцию Ключи. Начался пеплопад. Сначала падали отдельные крупные песчинки размером до 3 мм. Казалось, что это сильный град бьет по оконному стеклу. Постепенно пеплопад усилился, и скоро наступила такая непроницаемая тьма, что невозможно было разглядеть предмет, поднесенный к глазам. Площадь, покрытая пеплом, имела в длину 400 км, а в ширину — 100—150 км. Общий его объем составил не менее 0,5 млрд. м³.

Но полное представление о происшедшей катастрофе было получено лишь после того, как удалось побывать около вулкана. Безымянный неузнаваемо изменился. Из правильного, слегка усеченного конуса он превратился в полукольцевую кальдеру. Древний купол, приподнятый еще на первой стадии извержения, теперь отсутствовал. На месте вершины и юго-восточного склона горы зиял огромный кратер в виде полукольца размером 1500×2000 м. Вершина вулкана была снесена взрывом. Высота его уменьшилась почти на 200 м (рис. 18).

На расстоянии свыше 10 км все было погребено под полуметровым слоем вулканических песков. Струи этого песка содрали кору с деревьев в радиусе до 30 км. Все тонкие деревья были сломаны. Дом — база вулканологов (к счастью, без людей), расположенный в 12 км от места извержения, в буквальном смысле слова был сдут с лица земли: от него не осталось ни одной доски.

Под огромной толщей упавшего с неба раскаленного песка началось бурное таяние снега. Возникшие мощные грязевые потоки, увлекая обломки скал в сотни тонн весом, устремились по долинам, уничтожая все на своем пути.

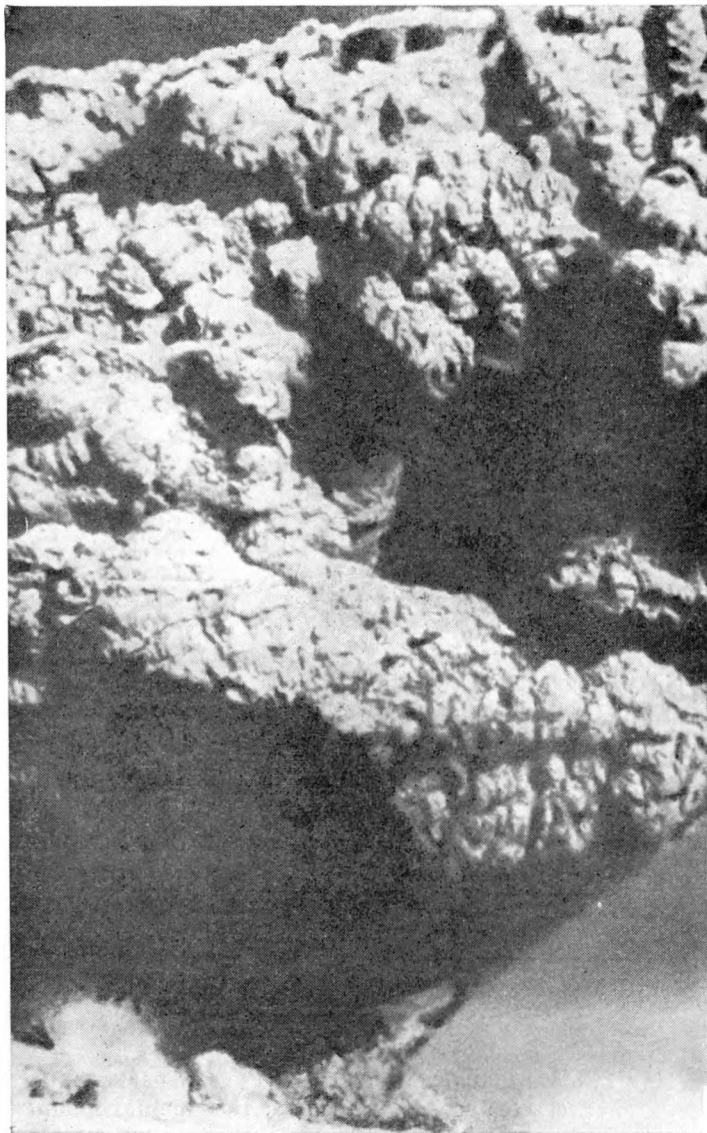


Рис. 17. Извержение вулкана Безымянного (30 марта 1956 г.). Миллионы тонн распыленной взрывом лавы подняты на высоту до 45 км (фото В. А. Ерова)

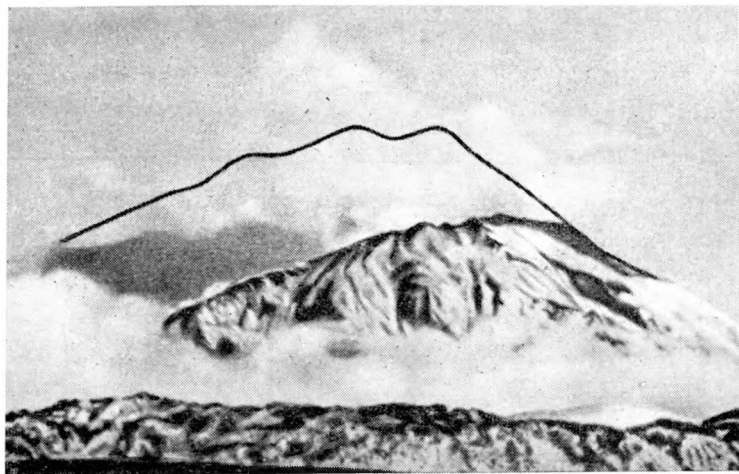


Рис. 18. Вулкан Безымянный после взрыва

Черная линия — очертания вулкана до извержения

После пароксизма 30 марта наступила последняя фаза извержения. В новом громадном кратере начали расти два купола. Когда в августе начальник вулканической станции Ключи Г. С. Горшков совершил восхождение на Безымянный, первый из этих куполов достигал высоты 320 м. В ноябре извержение закончилось.

Извержение Безымянного произошло в совершенно безлюдной местности. Самая крупная вулканическая катастрофа нашего века не унесла ни одной жизни.

Мы рассказали о некоторых наиболее сильных вулканических извержениях. Большинство из них было взрывного характера. Что же является причиной таких катаклизмов? Где и каким образом они возникают? Почему достигают такой силы, как ни одно другое геологическое явление? Современных знаний о физических свойствах лав, о расплавах, возникающих на глубинах в десятки километров, и о составе содержащихся в ней газов еще недостаточно. Тем не менее существующие гипотезы могут опираться на ряд известных нам факторов. Извержение вулкана связано с поднимающимися с больших глубин расплавленными лавами. Возникновение таких расплавов

вызвано переходом твердых горных пород в жидкое состояние, а это значит — увеличение их объема на 5—10%. Изменение объема вследствие развивающегося в жидком расплаве гидростатического давления вызывает подъем вверх этого расплава. Проникновение расплава на дневную поверхность зависит от прочности и монолитности земной коры. Если последняя расчленена разломами, то происходят относительно спокойные извержения, иногда сопровождающиеся ее фонтанированием (извержения гавайского типа).

Но расплав может оказаться в обстановке, затрудняющей его подъем на земную поверхность. В этом случае расплав затвердевает на глубине, образуя крупный гранитный массив, или вызывает проплавление расположенных над ним горных пород.

Многое определяет химизм лав. Если это лавы базальтового состава, т. е. содержат не более 50% кремнезема, то они бывают жидкими и сравнительно легко поднимаются по трещинам на поверхность, разливаясь потоками во все стороны. Если в лаве кремнезема больше (60—70%), то она становится густой, тягучей, создает пробки в вулканическом канале, подъем ее на поверхность затруднен. Но это не означает, что «взрывоопасны» лишь кислые лавы. Наиболее сильный вулканический взрыв прошлого столетия произошел в вулкане Тамбора, извергающего базальтовые лавы. Следовательно, химический состав лав — не единственная, а возможно, и не главная причина взрывных извержений.

По мнению Дж. Ферхугена, определяющим является количество газов в лаве. При высоком давлении вода и газы находятся в магме в растворенном состоянии. Когда с приближением к земной поверхности давление начинает падать, вода переходит в газообразное состояние. Богатая газами лава как бы «вскипает» от накапливающихся в ней пузырьков (как газированная вода в бутылке). Когда газовых пузырьков становится много, они соединяются друг с другом и лава оказывается раздробленной на мельчайшие частицы. Начавшаяся кристаллизация лавы увеличивает давление паров воды. Возрастание давления паров в такой газовой камере приводит в конечном счете к взрыву, разрушающему закрывающие ее сверху пласты горных пород. Скопившаяся в недрах газовая эмульсия еще жидкой лавы выбрасывается в атмосферу, мельчай-

шие пузырьки тотчас застывают и в виде вулканического пепла разносятся по воздуху, а затем падают обратно на землю.

Начальное давление взрыва может достигать 1500—3000 атм (извержение вулкана Безымянного). Такое огромное давление создается, вероятно, в результате цепных реакций, развивающихся в газовой фазе. При этих реакциях происходит выделение тепла, и, таким образом, извержение приобретает характер теплового взрыва.

Тот факт, что взрывные извержения Кракатау или Санторина неоднократно происходили на одном и том же месте (в пределах одной кальдеры), свидетельствует, что под таким вулканом длительное время работает один и тот же подводный канал. В его верхней части, по-видимому, на сравнительно небольшой глубине (1—2 км) происходила концентрация газовых пузырьков. В конечном счете общее накопление внутренних напряжений в расплаве и в его газовой фазе приводит к взрыву, тем более сильному, чем бóльшие напряжения накопились за период относительного покоя.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Город утонул в зелени. С гор, начинавшихся у его окраины, бежали по арыкам тоненькие ручейки воды, питая драгоценной влагой бесконечные ряды тополей, вытянутые вдоль улиц, фруктовые сады и начинавшиеся за городом хлопковые поля. Солнце зашло, и наступило лучшее время суток, когда изнуравшая весь длинный летний день жара сменилась чуть заметной прохладой. Шум вечернего города уже начал стихать, и в домах, почти скрытых за листвою яблонь и урюка, кое-где гасли огни. Неожиданно люди почувствовали слабый толчок, и в следующее мгновение, еще не успев сообразить, в чем дело, были сбиты с ног. Но вдруг наступила поразительная и еще более страшная, чем грохот и толчки, тишина. Земля совершенно не колебалась. Не было слышно ни звука. Исчез свет. Казалось, что город умер. И только когда послышались крики пострадавших, люди, находившиеся на улицах, бросились на помощь к полуразрушенным зданиям.

За ночь произошло еще несколько толчков. Когда взошло солнце, стала видна картина бедствия, постигшего город. По-прежнему стояли, шелестя листвой, тополя, но в глубине фруктовых садов вместо зданий лежали груды кирпичей.

Примерно так разразилась самая тяжелая в истории нашей страны сейсмическая катастрофа — Ашхабадское землетрясение (1948). Положение усугубилось тем, что очаг землетрясения был расположен непосредственно под городом, а катастрофа произошла ночью, когда все жители Ашхабада были в помещениях. Особенно сильно пострадали старые глинобитные постройки, сооруженные без применения антисейсмических поясов.

По силе Ашхабадское землетрясение, однако, не принадлежит к числу максимальных (9 баллов). Землетрясения такой интенсивности происходят по несколько раз в год. История сохранила нам описания значительно более сильных подземных ударов.

ПЕРВАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА В ЕВРОПЕ

Одним из наиболее трагических было Лиссабонское землетрясение в 1755 г. Вот как описывает очевидец первую из сейсмических катастроф на Европейском континенте.

«Беда случилась внезапно. Утром, еще не одетый, я услышал страшный треск. Я побежал посмотреть, в чем дело, и вместе с другими добрался до нашего двора, где собрался чуть ли не весь город... Каких только ужасов я не рассмотрел. Больше чем на локоть земля то поднималась вверх, то опускалась, здания рушились со страшным грохотом. Возвышавшийся над нами Кармелитский монастырь раскачивался из стороны в сторону, грозя каждую минуту раздавить нас. Страшной казалась и земля, которая могла поглотить нас живыми. Людям не было видно друг друга, так как солнце было в каком-то мраке; казалось, что настал день страшного суда. Это страшное потрясение длилось более 8 минут. Потом все немного успокоилось.

... Мы бросились на большую площадь, лежащую недалеко от нас. Приходилось пробираться среди разрушенных домов и трупов, не раз рискуя погибнуть.

На площади, куда мы добежали около 3 часов, собралось не менее 4000 человек, одни полураздетые, другие

совсем нагие. Многие были ранены, лица всех были покрыты смертельной бледностью. Находившиеся среди нас священники давали общее разрешение от грехов. Вдруг снова началось землетрясение, продолжавшееся около 8 минут. После этого целый час тишина не нарушалась.

Все улицы были сплошь загромождены развалинами домов. Пробираясь среди камней и трупов, мы подвергались страшной опасности... через четверть часа нам удалось достигнуть широкого поля... Первую ночь мы провели в этом поле под открытым небом, лишенные самого необходимого... Сам его величество король принужден был жить среди поля, и это подбодряло нас, облегчая страдания. Чудные громадные церкви, подобных которым нет и в самом Риме, уничтожены, из 20 000 духовных лиц в живых осталась только половина. Вечером в 11 часов в разных местах мы увидели огонь; что спаслось от землетрясения — уничтожил пожар»*.

Американский сейсмолог Э. Робертс писал: «Со вторым толчком связаны другие трагические события. Многим из оставшихся в живых жителям после первого землетрясения с трудом удалось добраться до нового причала Кайз-Депреда на набережной реки, который привлек их своей прочностью. Приземистый и массивный, он казался надежным убежищем. Но и это пристанище пострадавших было недолговечным! С первыми же новыми ударами фундамент причала осел, и подобно тому, как это случалось свыше 60 лет до этого в Порт-Ройале, все сооружение вместе с обезумевшими от ужаса людьми бесследно исчезло в водной стихии. Спаслись никому не удалось.

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

* Цит. по: *Неймайр М.* Вулканы и землетрясения. СПб., 1902, с. 220.

Последствия этого землетрясения в других местах были не менее грандиозны и удивительны. Например, в Коларесе, близ Лиссабона, произошло поднятие суши. В гавани из-под воды появилась новая скала, не виденная ранее моряками, а по прибрежной полосе, там, где раньше гуляли только волны, стали свободно ходить люди. Подъем суши сильно изменил очертания побережья Португалии. Сотрясения наблюдались по всей Португалии и Испании на площади свыше двух с половиной миллионов квадратных километров»*.

Число жертв землетрясения в Лиссабоне составило около 50 тыс. человек.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ ДЛИНОЙ В ТРИ ГОДА

Другая сейсмическая катастрофа произошла в Средиземноморье в 1870 г. Это землетрясение, захватившее Южную Грецию, продолжалось целых три года и отличалось страшной силой. Наиболее сильно пострадала провинция Фокида.

29 и 30 июля 1870 г. были замечены колебания почвы на острове Лисса. Примерно в то же время пачались слабые сотрясения в Греции. Вечером землетрясение усилилось. Оно ощущалось в Эвбее, Аттике и на Пелопоннесе, а в Фокиде достигло размеров катастрофы. Так как слабые толчки — там явление обычное, на них поначалу не обратили внимания. В ту роковую ночь стояла страшная жара, и люди спали на открытом воздухе, чем и объясняется то, что число погибших было не так велико, как могло бы быть зимой.

Около 2 час. 45 мин. первого августа последовал страшный удар, сопровождавшийся сильными вращательными и колебательными движениями почвы, длившимися 15—20 мин. В первый момент грохота не было слышно, но в дальнейшие промежутки он повторялся почти непрерывно. В несколько секунд были разрушены Итеа, Ксиропидаги, Хриссо и Дельфы, отчасти также Арахова и Анфисса. Несколько других селений, а также множество церквей и монастырей обращены в руины.

Спустя 19 мин. после первого удара земля опять пришла в движение, а около 1 час. 30 мин. пополудни новый

* Робертс Э. Когда сотрясается Земля. М., 1966, с. 18—19.

страшный удар низвергнул на землю остатки городов, вызвал сильные обвалы в Кораксе, Парнасе, Кирфисе.

Вот как описывает свои ощущения очевидец катастрофы — ученый Ю. Шмидт, прибывший в район землетрясения 4 августа.

«В час ночи, когда я собрался отдохнуть, чтобы затем снова продолжать наблюдения, произошло сотрясение такой силы, что все живое обратилось в бегство. Воздух был тих. Этому страшному раскату предшествовал сильный глухой раскат, продолжавшийся несколько десятых секунды, напоминавший выстрел из пушки... Земная кора поднялась вверх, но ровно и медленно, без внезапных толчков. Я почувствовал себя подброшенным на воздух, но не испытывал ощущения быстрого падения; поднятие длилось 2—3 секунды, и скорость была незначительной... Овладев собой и встав на ноги, я оглянулся на близлежащее море и тут только получил ясное представление о всех последствиях землетрясения. Когда послышался грохот и последовал подземный удар, с запада раздался шум, по-видимому из Итеа, и треск обрушившихся развалин, крики жителей, лай собак, короткий резкий плеск морских волн, заливших берег на две мили. Затем несколько секунд продолжалась тишина, и снова раздался шум: с вершины горы Кирфиса с грохотом катились по обрывам и глубоким ущельям скалы и низвергались на равнину и в море. Только шум утих, как раздался новый глухой шум от падения скал, низвергавшихся с горы Парнас. С запада и северо-запада, с горы Коракс и с возвышенности около Анфиссы, также доносился грохот падающих камней. В эту ночь, полную тревог, слышно было, как бились друг о друга листвою фиговые деревья, падали насекомые с сухих растений, бежали звери, бросившие в испуге свои норы» *.

25 октября жители были напуганы северным сиянием. В это время разразился новый сильный удар, окончательно разрушивший город Анфисса, частью сохранившийся после катастрофы 1 августа. Все, что отстроилось заново в последнее 10—11 недель, было уничтожено. Настали холода, и оставшиеся в живых жители Фокиды принуждены были ютиться в жалких шалашах. А между тем подземные удары шли непрерывно.

* Цит. по: *Неймайр М.* Указ. соч., с. 217.

Допуская, что каждые три секунды в первые три дня происходило по одному колебанию, Шмидт считает, что общее их число за три года (с 1 августа 1870 г. по 1 августа 1873 г.) составило 86 тыс. По его наблюдениям, в местечке Итеа за сутки произошло 1700—2000 раскатов и ударов. Учитывая слабые дрожания и звуки, за шесть месяцев 1876 г. Ю. Шмидт насчитал 500—600 колебаний и раскатов. Так как землетрясение продолжалось три с половиной года, то, «не преувеличивая, можно сказать, что у эпицентра произошло 0,5—0,75 миллиона колебаний и ударов. Среди них было 300 сильных и опасных раскатов, сопровождавшихся разрушениями, 50 000 слабых ударов и 0,5 миллиона слабых раскатов»*.

Описания Шмидта знакомят нас с одним из сильнейших землетрясений. Однако геологические наблюдения в Греции показали, что в давние времена случались здесь и более страшные катастрофы. Об этом свидетельствуют еще не залеченные шрамы на лице Земли — трещины и грандиозные обвалы. Сохранилось предание, что галльские полчища, пытавшиеся в 279 г. до н. э. разграбить Дельфийский храм, были сильно испуганы падением каменных глыб, скатившихся с вершины Парнаса.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В МЕССИНЕ И КАЛАБРИИ

29 декабря 1908 г. весь мир узнал о катастрофе, постигшей накануне Южную Италию. Цветущие города Мессина, Реджо-ди-Калабрия и окрестные селения были полностью разрушены. Под их развалинами и в колоссальной морской волне погибли сотни тысяч людей, в очертаниях берегов Мессинского пролива и его дна произошли крупные изменения. Последствия Мессинского землетрясения изучал крупнейший польский естествоиспытатель — геолог К. И. Богданович, оставивший подробное описание катастрофы на острове Сицилия. О трагедии рассказал А. М. Горький, находившийся тогда в Италии и прибывший в Мессину вскоре после катастрофы.

«Бессвязные слова тех людей, которые спаслись от гибели, сплетаются в рассказ одного существа: оно в это утро как бы поднялось над землей, и его взгляд,

* Неймайр М. Указ. соч., с. 218.

изошренный ужасом, охватил всю картину восстания стихий на человека.

Накануне катастрофы и всю ночь перед нею выл ветер, море яростно бросало на берега высокие волны; спасаясь от непривычного холода, жители Мессины и прибрежных городов Калабрии плотно закрывали двери и окна домов и спали крепким, предутренним сном.

В 5 час. 20 мин. земля вздрогнула; ее первая судорога длилась почти десять секунд; треск и скрип оконных рам, дверных колод, звон стекла, грохот падающих лестниц разбудил спящих; люди вскочили, ощущая всем телом эти подземные толчки, от которых вдруг теряешь сознание, наполняясь уничтожающим разум диким страхом.

Одни метались по комнатам, желая зажечь во тьме огонь и собирая детей и женщин, а вокруг них качались стены, срываясь, падали полки, посуда, картины, зеркала, изгибался пол, мебель тряслась, и, двигаясь по комнате, опрокидывались шкафы, подпрыгивали столы — все было оживлено паникой, враждебно людям и угрожало смертью. Как бумажный, разрывался потолок, сыпалась штукатурка — всюду скрип и треск дерева, падение камней, шорох разрушавшихся стен, плач детей, вопли страха, стоны боли — люди бегали во тьме, толкая друг друга и не находя выхода из этой бури, которая вдруг уподобила их дома баркам и колебала землю под ними, как волны моря.

Другие — сразу были духовно разрушены потрясением: оцепенев, они сидели на постелях, немые и слепые, защищая головы руками и не отзываясь на крики родных; на тело их падали камни, опрокидывались вещи, их душила пыль, и, задохались в ней они, молча сгибались под ударами.

Перекошенные двери невозможно было открыть во тьме, не попадало под руки ничего, чем можно было бы разбить их, выломать рамы и ставни. Когда люди вырывались в коридоры, их встречала густая туча мелко измолотой извести и ослепляла. В темноте все качалось, падало, с треском проваливаясь в какие-то вдруг открывшиеся пропасти. На месте лестниц сияли темные ямы, из них вздымалась эта страшная пыль разрушения; обезумевшие люди, хватая на руки детей, с криком бросались вниз, ища земли, ломали кости, разбивали головы, ползали по

грудам обломков, поливая кровью камни и мусор, а вокруг все дрожало под толчками новых и новых ударов, и отовсюду доносился крик и стон десятков тысяч человеческих голосов. В сумраке одно за другим рушились с грохотом разорванные здания, прыгали камни, сыпалась известь, раздавливая и погребая разбитые, истекающие кровью тела полуголых, дрожащих от холода и ужаса людей.

Вздымалась пыль, ветер рвал ее, бросал ею в безумные глаза, осыпал раны, надевал на окровавленные лица ужасные маски, и едва порыв ветра с воем и ревом разносил одну тучу пыли, падало здание, и снова взрывался к облакам огромный, удушливый серый клуб, и катились по улицам камни, отбивая людям ноги.

Земля глухо гудела, стонала, горбилась под ногами и волновалась, образуя глубокие трещины — как будто в глубине проснулся и ворочается века дремавший некий огромный червь, слепой, он ползет там в темноте, изгибаются его мускулы и рвут кору земли, сбрасывая с нее здания на людей и животных...

Лопнули трубы водопровода, из трещин земли рвутся фонтаны, шипя и обрызгивая раздетых людей холодной водой; ноги бежавших попадали в ямы, люди падали и погибали при каждой новой судороге разрушаемой земли. Кто имел силы устоять на ногах или ползти — двигался дальше, на берег моря, на площади города, путаясь в проволоках телефона и телеграфа, а земля вновь отталкивала все; вздрогнув и пошатываясь, здания наклонялись, по их белым стенам, как молнии, змеились трещины, и стены рассыпались, заливая узкие улицы и людей среди них тяжелыми грудами острых кусков камня, пронзающими осколками изломанного дерева, дробя кости женщин и детей, выдавливая мозг, выжимая внутренности тяжестью своей, безобразно разрывая прекрасное человеческое тело...

Хочется пить — пыль вызывает жажду, но фонтаны сухи; люди бросаются на землю и, припав к лужам мутной, насыщенной известью воды, жадно пьют, сосут ее, целуя землю, убивающую их.

А в грудах мусора уже сверкают тонкие желтые языки огня — это огни лампад, горевших ночью перед ликом Мадонны, это загорелось от трения сухое дерево балок, подшивка потолков, изломанная мебель, двери, белье. Завален-

ный мусором дым густ и едок, он смешивается с пылью и обливает людей душной тьмой...

Всюду, из-под развалин, из середины их текут и бьются стоны и крики, и уже слышен хохот безумных, они бегут куда-то, прыгая по грудам щебня, или идут медленно и поют, сидят на грудях камней, плачут, молятся, смотрят в огонь навсегда спокойными глазами и улыбаются страшной улыбкой...

Ожила, восстала мертвая материя и, торжествуя в слепой и глупой силе своей, жестоко мстит человеку за его победы над нею, хочет навсегда испугать его и обессилить непокорный враждебный дух — пятую стихию, самую великую, наиболее богатую творчеством...

На площадях жмутся маленькие группы людей; изуверченные, истощенные страхом, дрожащие от холода — большинство почти наги, некоторые укутаны одеялами, простынями... Все босы. У каждого — кто-нибудь, у многих — все близкие погибли.

Узнав друг друга, удивляются:

— Вы живы?

И, крепко обнимаясь, плачут, как дети.

К ним отовсюду несется зов: Спасите!

Но они бессильны и только плачут, только стонут, проклиная бога.

Кто в силах, молча бросается на крики и, стиснув зубы, разрывает камни и мусор голыми руками, каждую секунду рискуя быть задавленным новыми обвалами искривленных изломанных стен...»*

Мессинское землетрясение не принадлежало к числу сильнейших. Трагедия Мессины, как и большинства других разрушенных городов, была в том, что подземный толчок произошел непосредственно под городом. Такие случаи, конечно, редки, но ни один город, расположенный в сейсмической зоне, не застрахован от такого землетрясения. Это не значит, что землетрясение под городом — всегда катастрофа. Современная наука приближается к решению проблемы прогноза времени возникновения землетрясения, а современная строительная индустрия позволяет возводить здания, которым не страшны и более сильные подземные толчки.

* Горький М. Землетрясение в Калабрии и Сицилии.— Полн. собр. соч., т. 11. М., 1971, с. 238—242.

ПОГРЕБЕННЫЕ ЛЁССОМ

Первое место по числу жертв занимает землетрясение 1920 г. в китайской провинции Ганьсу. По неполным данным, от землетрясения погибло свыше 200 тыс. человек. Роковую роль сыграла не только сила подземного толчка, вызвавшего разрушения на площади 450×150 км, но и специфические условия грунта Центрального Китая. Пострадавший район находился в центре «страны лёсса» — плодородной пыли, нанесенной ветрами из пустыни Гоби еще в начале четвертичного периода. Лёссовые толщи не только двигались целыми холмами, но и погребли десятки тысяч людей, живших в пещерах, прорытых в лёссе. Возникшие оползни достигли грандиозных размеров. В местности, получившей название Долины Смерти, семь гигантских оползней срезали склоны гор и погребли под собой фермы и селения. Один дом, захваченный оползнем, был перенесен на движущейся массе пород и каким-то чудом остался на поверхности. Он проделал путь в 800 м, пока два других оползня не заставили лавину изменить путь.

Оползни и обвалы в Ганьсу по масштабам превосходили те, которые 40 лет спустя захватили Чилийские Анды. Лишь смещения горных масс в Гималаях в 1950 г. были еще колоссальнее.

РАЗРУШЕНИЕ СТОЛИЦЫ ЯПОНИИ

В памяти человечества навсегда сохранится катастрофа, постигшая Токио и Иокогаму 1 сентября 1923 г. Приближалось время обеда. Служащие учреждений из деловой части Токио устремились в рестораны и на зеленые лужайки городских парков. Стоял на редкость тихий солнечный осенний день. Воздух был неподвижен. За полторы минуты до полудня под водами залива Сагами начались колебания земли, вначале слабые, но затем быстро усилившиеся. Волнение почвы стремительно распространялось и вскоре достигло двух крупнейших городов Японии, расположенных в 65 км к северу от залива. Подземные удары были настолько сильными, что вызвали катастрофические разрушения.

На линии железной дороги между Токио и Иокогамой поезда вдруг покачнулись и, наткнувшись на выворочен-

ные и скрученные рельсы, рухнули наземь. Профессор Имамура, известный сейсмолог, который в тот момент находился в служебном кабинете в Токио, по профессиональной привычке стал фиксировать периодичность подземных толчков. Но уже несколько мгновений спустя сила ударов возросла, а еще через некоторое время от города остались лишь одни руины.

В Иокогаме было разрушено 11 тыс. зданий и почти 59 тыс. сгорело. В Токио при сильном ветре пострадало от пожара более 300 тыс. (из миллиона) зданий. Были уничтожены мосты, леса, завалены туннели. Разбушевавшиеся в заливе Сагами волны высотой более 10 м обрушились на берег, неся смерть и разрушение. Всего в районе землетрясения насчитывалось около 100 тыс. погибших. Около миллиона людей осталось без крова. Таковы последствия Токийского землетрясения 1923 г., ставшего рекордным по разрушениям. Общие убытки были оценены почти в 3 млрд. долл.

САМЫЕ СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Во второй половине XX в. произошло несколько сейсмических катастроф, которые относятся к числу величайших катаклизмов: Гималайское землетрясение 15 августа 1950 г., Гоби-Алтайское — 4 декабря 1957 г. и Чилийское — 29 мая 1960 г.

О Гималайском землетрясении 1950 г. — величайшей сейсмической катастрофе, случившейся в высокогорной части Тибета, вблизи индийско-китайской границы, мы знаем лишь по показаниям сейсмических станций и на основании сведений, поступивших из достаточно удаленных от эпицентра районов. Подсчитано, что энергия этого землетрясения примерно соответствовала энергии взрыва 100 тыс. атомных бомб. Изменения рельефа вблизи эпицентра были колоссальными. В горах, обильно насыщенных влагой муссонных дождей, произошло множество обвалов и оползней. По приблизительным подсчетам главного инженера штата Ассам, общий вес переместившихся пород составил около 2 млрд. т. Рассказы немногочисленных очевидцев наводили ужас. Страшный гул, идущий из земных недр, перерос в оглушительный грохот. Небо померкло от поднявшейся вверх пыли. Вблизи эпицентра землетрясения никто не мог удержаться на ногах. Даже

в Калькутте, на расстоянии более 1000 км, население было сильно напугано подземными толчками.

В долине реки Брахмапутры, более чем в 100 км от Гималайских гор, подземные колебания вызывали у многих жителей приступы морской болезни. Автомашины были отброшены на 800 м, участок железнодорожного полотна длиной 300 м опущен почти на 5 м, а полотно дороги полностью разрушено.

Чилийское землетрясение произошло 29 мая 1960 г. Оно полностью разрушило город Консепсьон, существовавший более 400 лет. Были превращены в развалины Вальдивия, Пуэрто-Монт и другие города. Подземные толчки, обвалы горных масс и оползни захватили площадь свыше 200 тыс. км², что превышает территорию Великобритании. Прибрежная полоса площадью 10 тыс. км² опустилась после землетрясения ниже уровня океана и оказалась перекрытой двухметровым слоем воды.

Вот как описывает свои впечатления один из очевидцев, переживший эту катастрофу: «Сначала произошел довольно сильный толчок. Затем раздался подземный гул, словно где-то вдали бушевала гроза, гул, похожий на раскаты грома. Затем я снова почувствовал колебания почвы. Я решил, что, как бывало прежде, все скоро прекратится. Но земля продолжала содрогаться. Тогда я остановился, взглянул в то же время на часы. Внезапно подземные толчки стали настолько сильными, что я едва удержался на ногах. Толчки все продолжались, сила их непрерывно нарастала и становилась все более и более яростной. Мне сделалось страшно. Меня швыряло из стороны в сторону, как на пароходе в шторм. Две проезжавшие мимо автомашины вынуждены были остановиться. Чтобы не упасть, я опустился на колени, а затем стал на четвереньки. Подземные толчки не прекращались. Мне стало еще страшнее. Очень страшно... В десяти метрах от меня с ужасающим треском переломился пополам огромный эвкалипт. Все деревья раскачивались с невероятной силой, ну, как бы вам сказать, словно они были веточками, которые изо всех сил трясли. Поверхность дороги колыхалась, как вода... Уверяю вас, это было именно так! И чем дальше все это продолжалось, тем становилось страшнее. Подземные толчки все усиливались. Казалось, землетрясение длится бесконечно»*.

* *Тазиев Г.* Когда Земля дрожит. М., 1963, с. 35.

Одной из исключительных особенностей этого катастрофического землетрясения было опускание огромной полосы побережья под уровень океана.

Трудно представить себе размеры этого гигантского геологического явления, точно зафиксированного сличением топографических карт до и после катастрофы. За несколько секунд полоса земли шириной 20—30 км и протяженностью 500 км опустилась почти на 2 м.

подавляющее большинство сильных землетрясений происходит за пределами населенных пунктов. Более того, самые грандиозные (может быть, исключая лишь Чилийское в 1960 г.) случаются там, где нет крупных поселений. Два из подобных землетрясений были детально изучены геологами, и, знакомясь с их описаниями, мы убеждаемся, что это — гигантские пароксизмы.

Рождественские праздники в канун 1911 г. были омрачены известием о сильном землетрясении, постигшем 22 декабря город Верный (Алма-Ата) и Семиреченскую область. Уже первые сведения, доставленные телеграфом, и в особенности результаты обработки сейсмограммы в Пулкове, выполненной академиком Б. Б. Голицыным, свидетельствовали, что произошла грандиозная сейсмическая катастрофа. Смещение самописцев на приборах Пулковской обсерватории оказалось в четыре раза больше, чем во время Мессинской катастрофы. Расстояние между Пулковым и Верным в полтора раза больше, чем между Пулковым и Мессиной, а сейсмические колебания затухают пропорционально квадрату расстояния и даже быстрее. Следовательно, землетрясение в Верном было в 10 раз сильнее, чем в Мессине.

Тщательное исследование области, охваченной землетрясением, выполненное К. И. Богдановичем и его помощниками, легло в основу обширной монографии, в которой впервые в научной литературе был описан грандиозный сейсмический феномен. Город Верный (Алма-Ата) оказался на краю области разрушений, и, несмотря на это, в нем были сильно повреждены деревянные дома и разрушены некоторые каменные здания.

Землетрясение охватило огромную территорию — от хребтов Заилийский Алатау и Кунгей-Алатау вплоть до озера Иссык-Куль (рис. 19) — к счастью, практически ненаселенную. Горные хребты и долины были рассечены разломами протяженностью до 200 км. Полоса наиболь-

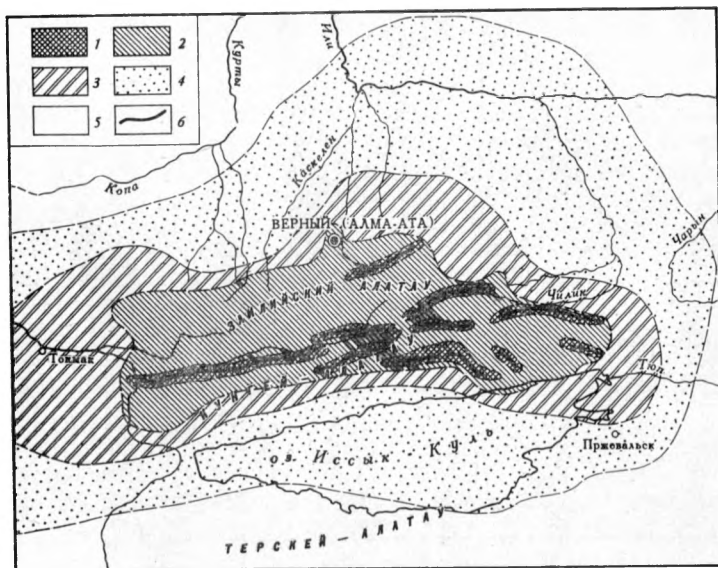


Рис. 19. Карта изосейст и расположение разломов Тянь-Шаньского землетрясения в 1911 г.

Область полного разрушения (9—11 баллов) захватила территорию площадью 15 тыс. км². Длина разломов достигла 100 км. Сила сотрясения (в баллах): 1—10—11; 2—8—9; 3—7; 4—6—7; 5—6 баллов и менее. Разломы (6)

ших нарушений земной поверхности (шириной 500 м и длиной 100 км) обнаружена на южном берегу Иссык-Куля (рис. 20). Протяженные трещины с крупными вертикальными смещениями слоев горных пород, коробление земной поверхности, грандиозные обвалы и оплывины, сместившие миллионы тонн породы, встречались по всей исследованной площади.

Наблюдения Богдановича показали, что источником подземного удара 1911 г. была не какая-нибудь одна точка, даже не одна линия, а целая система протяженных разломов, образование которых следовало одно за другим. Это подтверждалось и тем, что землетрясение длилось необычайно долго — более 6 мин. ощущались в Верном сильные колебания.



Рис. 20. Площадь разрывов и смещений на северном побережье Иссык-Куля, вызванных землетрясением в 1911 г.

В заключение мы расскажем об 11—12-балльном Гоби-Алтайском землетрясении, разразившемся 4 декабря 1957 г. на юге Монголии (рис. 21). Землетрясения такой интенсивности отмечались лишь подо дном океана, характер их проявления на поверхности суши не был изучен. Огромная сила землетрясения, небольшая глубина очага, почти полное отсутствие растительности привели к тому, что следы, оставленные землетрясением на поверхности Земли, оказались полнее и многообразней, чем любого из известных землетрясений. В несколько мгновений Южная Монголия превратилась в природную лабораторию, в которой воспроизводились самые различные геологические процессы, обычно недоступные глазу исследователя (рис. 22).

Землетрясение началось около полудня сильным, но не разрушительным толчком-предвестником. Жители успели выбежать из помещений, и когда последующий главный удар разрушил, а местами буквально снес здания, в них уже почти не осталось никого. Приблизительно за минуту

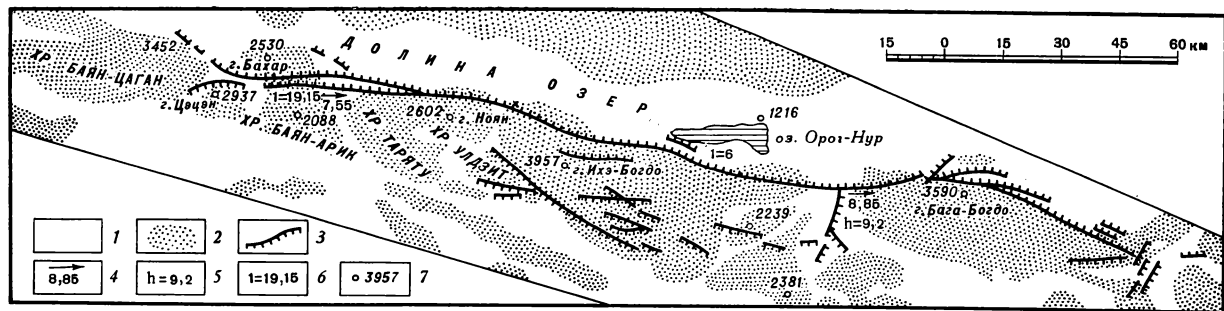


Рис. 21. Схематическая карта эпицентральной области Гоби-Алтайского землетрясения 4 декабря 1957 г. (по В. П. Солоненко и Н. А. Флоренсову)

1 — впадины и межгорные долины; 2 — горные массивы; 3 — главные разломы, образовавшиеся при Гоби-Алтайском землетрясении; 4 — направление и амплитуда сдвигов (в м); 5 — амплитуда вертикальных смещений (в м); 6 — ширина трещин (в м); 7 — абсолютные отметки (в м)

до этого раздался глухой шум со стороны горной цепи и сотряслась почва. Затем донесся грохот, напоминавший взрывы колоссальной силы. Над горными массивами поднялись огромные темные тучи пыли, скрывшие сначала наиболее высокие части гор. Пыль быстро распространилась, закрыв всю горную цепь на протяжении 230 км. Видимость местами не превышала 100 м.

Воздух очистился только через двое суток. За грохотом последовал главный удар, почти полностью разрушивший постройки. Заметные колебания почвы наблюдались на территории площадью 5 млн. км².

Эпицентральная зона землетрясения расположена между двумя крупнейшими орографическими элементами Гобийского Алтая: горами Баян-Цагап и Ихэ-Богдо. В. П. Солоненко и Н. А. Флоренсов, изучившие последствия этого землетрясения, пишут, что первый удар Гоби-Алтайского землетрясения произошел в междугорье Бахар и Цэцэн (рис. 23), откуда начался подъем всей горной цепи и ее смещение к востоку. Поэтому трещины от Бахарского эпицентра распределились односторонне: к востоку — на 240—250 км, а к западу — всего на 25—35 км. В 60—65 км восточнее Бахара южная 100-километровая зона прерывистых разломов как бы распоролась. Северный край горной цепи вдоль генерального разлома Богдо поднялся выше и переместился к востоку больше, чем южный.

При подъеме клинообразного массива длиной 80 км и шириной до 30 км вследствие растяжения возникли две внутренние системы трещин по обеим сторонам гребня хребта. По этим трещинам опустилась вершинная часть хребта Ихэ-Богдо. Кульминационным актом этого процесса было образование сброса-обвала в долине Битут. Перемещенная часть горного массива состояла из ряда блоков, двигавшихся по-разному. Площадь ее составляла 1,5×3,5 км, максимальное вертикальное смещение вниз по тыловому сбросу достигло 328 м, а горизонтальное, к востоку, — десятков метров. Перед фронтом основного опустившегося клина появились взбросы с подъемом до 60 м. Тектонические перемещения в ущелье Битут сопровождались массовыми обвалами, особенно значительными на западном продолжении опустившегося блока. Последний перекрыл долину Битут, при этом образовались два озера (Малахитовое и Изумрудное).

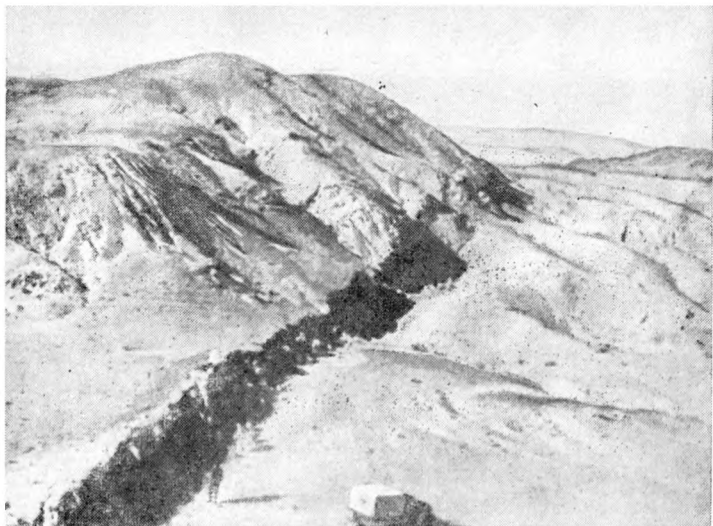


Рис. 22. Разлом во время Гоби-Алтайского землетрясения



Рис. 23. Южная трещина Бахарского грабена

На переднем плане — сопутствующие зияющие трещины растяжения; на заднем — надвиги (фото В. П. Солоненко)

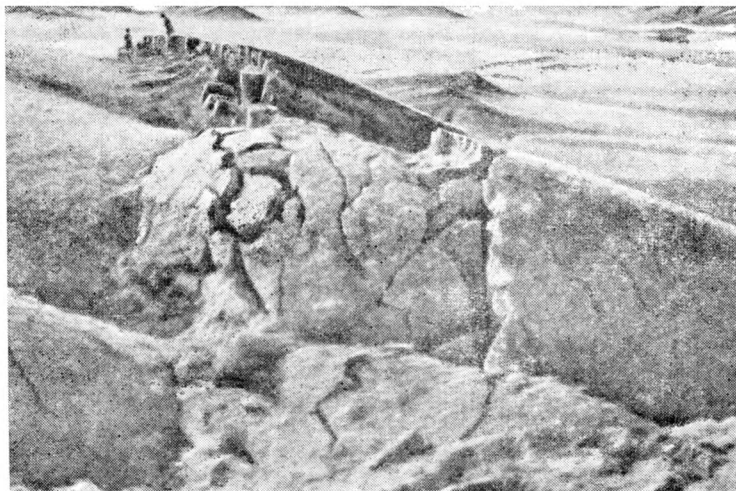


Рис. 24. Земляная волна после Гоби-Алтайского землетрясения

Горы Ихэ-Богдо сместились в горизонтальном направлении больше, чем хребет Бага-Богдо. Это повлекло за собой создание одной из самых эффектных тектонических форм, когда-либо мгновенно возникавших на глазах человека, — Тормхонского взбросо-надвига (рис. 24). Он напоминает застывшую громадную волну с высотой фронтального обрыва до 10 м.

Там, где Тормхонский взбросо-надвиг приближается к главной северной трещине, горизонтальный сдвиг по разлому Богдо достигает своего максимума — 8,85 м. Это значительно превышает подобные смещения почвы при ранее известных землетрясениях.

Размах первоначальных смещений в ходе землетрясения местами был в два раза больше того, который считается необратимым. Горные массивы, пришедшие в движение, по инерции переместились выше и дальше к востоку, нежели это соответствовало положению равновесия, а затем столь энергично возвращались к нему, что снова прошли точку равновесия, но уже в обратном (западном) направлении. В этом положении подвижные блоки, по крайней мере отдельные их участки, задержались

некоторое время и, наконец, переместившись к востоку, достигли положения равновесия. Часть повторных толчков Гоби-Алтайского землетрясения связана, по-видимому, именно с этими «движениями равновесия».

Гоби-Алтайское землетрясение произошло в малонаселенной местности. Три небольших сомонных (районных) центра в эпицентральной зоне, расположенных на расстоянии более 150 км друг от друга, были полностью разрушены и покинуты жителями. Грандиозное в истории человечества землетрясение на континенте осталось почти неизвестным. О нем знали лишь специалисты. Уникальные, в сотни километров длиной трещины, различного рода складки и сдвиги в горных породах были подробно описаны и составили специальную монографию, изданную тиражом всего лишь в тысячу экземпляров.

Попробуем, однако, представить, что бы произошло, случись такое землетрясение в густонаселенном промышленном районе. Территория шириной 50—100 км и протяженностью 500 км (как Дания или Голландия) была бы полностью разрушена. Число жертв могло измеряться миллионами.

Гоби-Алтайское землетрясение является интереснейшим природным экспериментом, на примере которого ученые разрабатывают и совершенствуют методы прогноза разрушительных землетрясений.

Пояса, где возникают землетрясения, могут быть подразделены на две группы. К первой из них относятся области, где за историческое время известны и по геологическим данным возможны в будущем разрушительные и катастрофические землетрясения. Во вторую группу попадают сейсмические пояса, в пределах которых хотя и происходят ощутимые землетрясения, но разрушительной силы, а тем более катастрофического характера они ни разу не достигли.

Причиной землетрясения служит смещение горных пород по разлому. Чем больше «оживший» разлом, тем больше и сила подземного толчка. Максимальные разломы приурочены к крупнейшим складчатым поясам — Тихоокеанскому и Средиземноморскому.

Самый протяженный пояс разрушительных землетрясений располагается по периферии Тихого океана (рис. 25). В его пределах чаще всего возникают катастрофические землетрясения, о двух из которых (Токий-

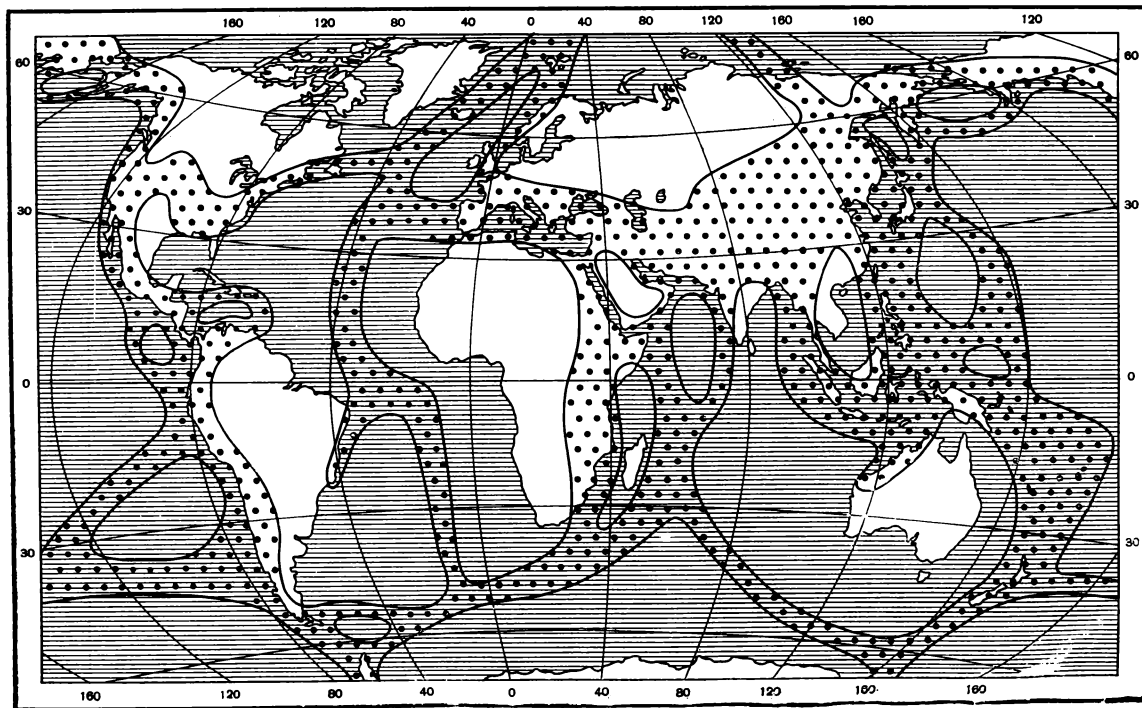


Рис. 25. Сейсмические пояса Земли. Точками показаны зоны, где происходят разрушительные землетрясения

ском и Чилийском), мы рассказали. Особенностью этой глобальной сейсмической зоны является также то, что к ней приурочено подавляющее большинство наиболее сильных цунами, поскольку очень часто эпицентры сильнейших землетрясений расположены подо дном океана. К этой высокосейсмической Тихоокеанской зоне приурочено и большинство действующих вулканов.

Другая высокосейсмичная зона (Средиземноморский пояс) пересекает Евразийский материк в субширотном направлении. Она начинается у побережья Атлантического океана (Португалия, Испания), захватывает все Средиземноморье и Южную Европу, продолжается через высокогорные районы Центральной Азии вплоть до Тихого океана. К этой зоне принадлежит описанное нами Лиссабонское землетрясение в 1755 г. и землетрясение в Греции 1870 г.

Сильные землетрясения в пределах поясов — одно из проявлений их высокой геологической активности уже многие сотни миллионов лет.

Но на Земле есть крупнейший сейсмический пояс, возникший всего 5—10 млн. лет назад. Этот пояс протягивается вдоль Восточной Африки до Красного моря и далее на Памир, Тянь-Шань, озеро Байкал и хребет Становой. Большая часть его проходит по древним платформам (Африканской, Сибирской). В пределах этого новообразованного пояса сейсмичность очень высокая. Там произошли некоторые из самых сильных землетрясений, и в том числе Северо-Тянь-Шаньское (Кебинское) землетрясение 1911 г. и Гоби-Алтайское 1957 г., о которых мы рассказали.

Области умеренной сейсмичности обычно располагаются по краям высокосейсмичных зон, а также образуют ряд самостоятельных полос. Такова полоса слабых землетрясений, протягивающаяся вдоль Урала или Скандинавского полуострова. В эту же группу попадает и сейсмический пояс подводного Срединно-Атлантического хребта, проходящего по оси Атлантического океана, и некоторые другие.

«После того как около Авачи, также на Курильской Лопатке и на островах было страшное землетрясение с чрезвычайным наводнением, которое следующим образом происходило: октября 6 числа помянутого 1737 году пополуночи в третьем часу началось трясение, и с четверть часа продолжалось волнами так сильно, что многие камчатские юрты обвалились и балаганы попадали. Между тем учинился на море ужасный шум и волнение, и вдруг залилось на берега воды в вышину сажени на три, которая, нимало не стояв, сбежала в море и удалилась от берегов на знатное расстояние. Потом вторично земля всколебалась, воды прибыло против прежнего, но при отлитии столь далеко она сбежала, что моря видеть невозможно было. В то время усмотрены в проливе на дне морском между первым и вторым Курильским островом каменные горы, которые до того никогда не виданы, хотя трясение и наводнение случалось и прежде. С четверть часа после того спустя последовали валы ужасного и несравненного трясения, а при том залилось воды на берег в вышину сажени на 30, которая по-прежнему, нимало не стояв, сбежала в море, и вскоре стала в берегах своих, колебаясь чрез долгое время, иногда берега поднимая, иногда убегая в море. Пред каждым трясением слышен был под землею страшный шум и стенание.

От сего наводнения тамошние жители совсем разорились, а многие бедственно скончали живот свой. В некоторых местах луга холмами и поля морскими заливами сделались...

В то время мы плыли из Охотска к большеецкому устью, а вышед на берег октября 14 дня, довольно могли чувствовать трясение, которое случалось временем столь велико, что на ногах стоять было не без трудности, а продолжалось оно до самой весны 1738 г., однако больше на островах, на Курильской Лопатке и по берегу Восточного моря, нежели в местах, отдаленных от моря.

Большеецкие казаки, которые были в то время на Курильских островах, сказывали мне, что они по бывшем первом разе трясения на горы бежать устремились вместе с курилами, оставив все свои вещи» *.

* *Крашенинников С. П.* Описание земли Камчатки. СПб., 1755, т. 1, с. 171—173.

Так описывает С. П. Крашенинников первое известное в России моретрясение (цунами), происшедшее на восточном побережье Камчатки в 1737 г. По высоте волн (70 м), обрушившихся на берег, оно было самым сильным из памятных до сих пор.

Цунами возникает от подводного землетрясения в том случае, если подземный толчок вызвал крупные нарушения на дне моря. Внезапный подъем по разлому значительных участков дна океана приводит к поднятию многокилометрового столба воды выше ее обычного уровня. Такой же эффект наблюдается и при опускании морского дна. Масса перемещающегося вверх и вниз столба воды вызывает появление поверхностных волн, которые распространяются по всему океану, подобно ряби от брошенного в воду камня. Заметим только, что во время цунами переносятся миллиарды тонн воды. Колоссальная энергия гонит ее на расстояние до 10—15 тыс. км.

Волны следуют друг за другом с интервалом около 10 мин., распространяются со скоростью реактивного самолета. В наиболее глубоких частях Тихого океана их скорость достигает 1000 км в час. Волны, передвигающиеся с такой скоростью и разделенные значительным промежутком времени, удалены на расстояние многих сотен километров друг от друга. Поэтому в океане каждая волна цунами представляет собой небольшой бугор высотой до полутора метров (очевидно, не превышающий то поднятие дна, которое их вызвало) и протяженностью в десятки километров. Люди на корабле, под которым пройдет такая волна, ничего не заметят. Цунами для них так же невидимо, как и прилив. Иное дело, когда волна подходит к мелководью. Здесь она вырастает до огромных размеров. Особенность длинных волн с колоссальной энергией состоит в том, что, обладая большой скоростью в глубоких водах, они замедляют свой бег на мелководье. Уменьшение скорости приводит к тому, что энергия волн идет на увеличение высоты волны. Основание волны задерживается, и возникает водяная стена. Особенно неблагоприятные условия в заливах с высокими берегами. Такие заливы, обычно сужающиеся по мере удаления от моря, оказываются гигантскими ловушками для волн цунами. Заходя в сужающийся залив или каньон, волна цунами начинает резко увеличивать свою высоту, поднимаясь до 40—60 м и даже выше.

Невероятные по разрушительным последствиям катастрофы возникают в случае падения в море и в особенности в морские заливы огромных масс горных пород или льда, сорванных подземным толчком.

Необычайно сильная катастрофа произошла в заливе Литуйя на юго-востоке Аляски. В этом заливе, вдающемся в сушу более чем на 11 км, геолог Д. Миллер обнаружил разницу в возрасте деревьев на склоне холмов, окружающих залив. По годовым кольцам деревьев он подсчитал, что за последние 100 лет в заливе по крайней мере четыре раза возникали волны с максимальной высотой в несколько сотен метров. К выводам Миллера отнеслись с большим недоверием. И вот 9 июля 1958 г. к северу от залива произошло сильное землетрясение, вызвавшее разрушение построек, обрушение побережья, образование многочисленных трещин.

Очевидцами катастрофы оказались люди, находившиеся на борту кораблей, которые бросили якорь в заливе. От страшного толчка всех их выбросило с коек. Вскочив на ноги, они не поверили своим глазам: море вздыбилось. «Гигантские оползни, поднимавшие тучи пыли и снега на своем пути, начинали бег по склонам гор. Вскоре их внимание привлекло совершенно фантастическое зрелище: масса льда ледника Литуйи, находящегося далеко к северу и обычно скрытого от взоров пиком, который высится у входа в залив, как бы поднялась выше гор и затем величественно обрушилась в воды внутреннего залива. Все это походило на какой-то кошмар.

Несмотря на то что катастрофа происходила в десяти километрах от места стоянки кораблей, все выглядело ужасно. На глазах потрясенных людей вверх поднялась огромная волна, которая поглотила подножие северной горы. После этого она прокатилась по заливу, сдирая деревья со склонов гор; обрушившись водяной горой на остров Кенотафия... перекатилась через высшую точку острова, возвышавшуюся на 50 м над уровнем моря...

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

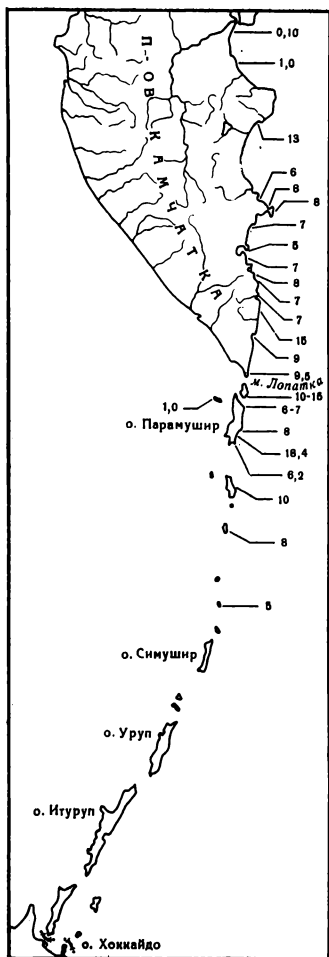


Рис. 26. Максимальная высота волн (в м) цунами 4—5 ноября 1952 г. на побережье Камчатки и Курильских островов

искивалась вода из ведер. Перепуганные люди выбежали из домов.

* Робертс Э. Указ. соч., с. 158—164.

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

Миллер обнаружил, что деревья, растущие на верхней границе обнаженной площади, чуть ниже 600 м над заливом, согнуты и сломаны, их поваленные стволы направлены к вершине горы, однако корни не вырваны из почвы. Что-то толкнуло эти деревья вверх. Огромная сила, свершившая это, не могла быть ничем иным, как верхом гигантской волны, которая захлестнула гору в тот июльский вечер 1958 года» *.

Сильное цунами обрушилось осенью 1952 г. на Курильские острова и южную часть восточного побережья Камчатки (рис. 26). Очаг подводного землетрясения был сравнительно недалеко (в пределах Курило-Камчатского глубоководного желоба). Волны быстро достигли Курильских островов и на острове Парамушир в некоторых местах поднялись, как максимум, до высоты 18 м.

На Парамушире в ночь с 4 на 5 ноября население было разбужено землетрясением. Разрушались печи; посуда и другая домашняя утварь падала с полок; выплескивалась вода из ведер.

После прекращения толчков, продолжавшихся несколько минут, бóльшая часть населения стала возвращаться в дома. Лишь те, кто ранее был знаком с цунами, главным образом рыбаки, бросились к горам, несмотря на спокойное море.

Через 45 мин. после землетрясения послышался громкий гул со стороны океана, и через несколько секунд на Северо-Курильск обрушилась огромная волна, двигавшаяся с большой скоростью. Она имела наибольшую высоту в центральной части города, где она катилась по долине речки.

Через несколько минут волна отхлынула в море, унося с собой все разрушенное. Дно пролива обнажилось на протяжении нескольких сот метров. Наступило затишье.

Через 15—20 мин. на город обрушилась вторая, еще бóльшая волна, 10-метровой высоты. Она нанесла особенно сильные разрушения, смывая все постройки. Позади волны на месте оставались лишь цементные фундаменты домов.

Пройдя через город, волна достигла склонов гор, после чего начала скатываться обратно в котловину, расположенную ближе к центру города. Здесь образовался огромный водоворот, в котором с большой скоростью вращались обломки строений и мелкие суда. Откатываясь, волна ударила с тыла в береговой вал перед портовой территорией, на котором сохранилось несколько домов, и в обход горы прорвалась в Курильский пролив. На перемычке между этим островом и горой волна нагромодила груды бревен, ящиков и даже принесла из города два дома.

Через несколько минут после второй волны пришла более слабая, третья волна, которая вынесла на берег много обломков.

Начальник изыскательской партии Л. И. Дымченко находился во время землетрясения и последовавшего затем цунами на базе рыбозавода на восточном берегу Камчатки, южнее Петропавловска. Он рассказал.

«5 ноября ночью я проснулся от сильной тряски. Проснувшись, я сообразил, что тряска это — землетрясение, и стал будить товарищей; тряска продолжалась от 3 до 5 минут. Пока мы поднялись, оделись и зажгли свет, землетрясение прекратилось. У меня и всех моих товарищей было ощущение настороженности. Мы пошли осматривать трещины, получившиеся от землетрясения. Трещины эти

(шириной 30—40 см) начинались от нашей палатки и шли по направлению к жиротопному цеху, примерно параллельно береговой черте, проходили под жиротопный цех и шли дальше. Жиротопный цех был единственным зданием, которое после землетрясения оказалось разрушенным до основания. У жиротопного цеха трещины были шириной более метра. Недалеко от жиротопки по направлению к пирсу находился засольный цех — большой деревянный сарай длиной 25—30 м. Землетрясением этот сарай был сдвинут в море и под влиянием небольшого западного ветра дрейфовал из бухты в море.

После конца землетрясения прошло минут 10—12, и вдруг мы увидели, что прямо на нас плывет обратно тот самый засольный цех, который только что относило в море, причем плывет теперь с большей скоростью и против ветра. Только тут я сообразил, что цех плывет под действием цунами. Раздумывать было некогда, нужно было спасаться. Я находился от сопки в 700 м, а море было рядом. От меня метрах в 70 находилась шлюпка, вытщенная на берег. Я бросился к шлюпке и добежал к ней уже по колено в воде. Только я успел прыгнуть в шлюпку, ее подхватила волна и понесла по направлению к сопкам. Потом волна перегнала шлюпку, оставив меня примерно на том месте, где раньше находилось озеро. Через некоторое время волна отхлынула и смыла с косы, где размещался рыбозавод, шлюпку вместе со мной и массу самых различных плавучих предметов, начиная от бревен, крыш, полов, стогов сена и кончая различными ящиками с консервами, мешками с мукой, различной одеждой и др.

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

Немного позже, когда первая волна несколько успокоилась, катер Авачинского рыбокомбината прошел в море недалеко от меня, но с катера меня не видели. Плававшая

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

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

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

Когда взошло солнце, я увидел, что катера, которые ночью при первом толчке ушли в море, идут обратно: я стал им кричать, но меня не слышали из-за шума моторов. Тогда я поднял весло над головой и стал им махать до тех пор, пока один катер не повернул ко мне» *.

Колоссальное цунами вызвало Чилийское землетрясение 1960 г. Г. Тазиев, посетивший вскоре после катастрофы Чилийское побережье, писал: «Мне даже приблизительно не удалось узнать, сколько человеческих жизней унесла катастрофа. Все же представляется, что в Чили от волн цунами погибло не так уж много людей, исключая

* Саваренский Е. Ф., Тищенко В. Г., Святловский А. Е., Добровольский А. Д., Живаго А. В. Цунами 4—5 ноября 1952 г.— Бюлл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1958, № 4, с. 36—37.

деревушки, расположенные в устье реки Маульин, где, как полагают, утонуло около тысячи человек. Сравнительно небольшое число жертв объясняется тем, что вскоре после мощного толчка, происшедшего в три часа дня, жители прибрежной зоны заметили, что сначала море вздулось и уровень его поднялся значительно выше уровня самых высоких приливов, а затем внезапно отхлынуло, словно воду куда-то всосало, на этот раз гораздо дальше самого низкого уровня отлива. Напуганные горьким опытом многих поколений, люди поняли значение этого явления. С криками ужаса: «„Море уходит!“ — все устремились на холмы» *.

На Чилийское побережье накатило несколько гигантских волн. Первый прилив моря — «нежный», как его называли жители, — был небольшим. Поднявшись на 4—5 м выше обычного уровня, море оставалось неподвижным около 5 мин. Затем оно начало отступать. Отлив был стремительным и сопровождался страшным шумом, похожим на звук высасываемой воды, с каким-то металлическим тембром, смешанным с рокотом низвергающегося водопада. Вторая волна нахлынула спустя минут 20. Она с грохотом мчалась к берегу с огромной скоростью, 50—200 км/ч, вздымаясь вверх до 8 м. Словно гигантская рука, сминаящая длинный лист бумаги, волна с ревом снесла один за другим все дома. Море стояло высоко в течение 10—15 мин., а затем отступило с таким же отвратительным всасывающим гулом. Третью волну увидели издали спустя час. Она была выше второй, достигая 10—11 м. Скорость ее движения около 100 км/ч. Обрушившись на обломки домов, нагроможденные второй волной, море вновь замерло на четверть часа, а затем стало отступать все с тем же ужасным металлическим звуком.

Гигантские волны, зародившиеся у берегов Чили, распространились по всему Тихому океану со скоростью до 700 км/ч. Главный удар Чилийского землетрясения произошел в 19 час. 11 мин. по Гринвичу, а в 10 час. 30 мин. волны достигли Гавайских островов. Городок Хило был частично разрушен, утонул 61 человек, 300 ранено. Шесть часов спустя, продолжая свое движение, цунами высотой в 6 м обрушилось на побережье японских островов Хонсю и Хоккайдо. Там было уничтожено 5 тыс. домов, уто-

* *Тазиев Г.* Указ. соч., с. 51.

цуло около 200 человек и 50 тыс. осталось без крова. Следует отметить, что служба оповещения о цунами на Гавайских островах своевременно предупредила о приближающейся волне. Сказалась беспечность жителей, большинство из которых не придавало особенного значения сигналам, уповая на то, что за год и за два до чилийской катастрофы сигналы тревоги давались, а цунами не было.

ТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ

В северном и южном полушариях, между 5° с. ш. и 25° ю. ш. возникают тропические циклоны, сопровождаемые мощными бурями. Область их действия — Карибское море, США (штаты Флорида, Техас, Луизиана), Мексика, Япония, Китай, Филиппины, полуостров Корея и частично советское Приморье, полуостров Индостан, острова Мадагаскар, Реюньон и Маврикий. Конечно, по сравнению с грозными явлениями космического происхождения или силами, скрытыми под земной корой, тайфуны или ураганы не имеют таких катастрофических последствий. Однако известно немало примеров, когда они влияли на биологические процессы, а в некоторых случаях играли определенную роль в развитии человеческого общества.

После плавания Христофора Колумба в его эскадре оставалось два корабля: каравеллы «Пинта» и «Нинья». На обратном пути 14 февраля 1492 г. к западу от Азорских островов они были захвачены вращающейся бурей, с которой европейцы встретились впервые (индейцы именовали этот ветер «хуракан»).

Вот как описывает Христофор Колумб первую встречу европейских мореплавателей с ураганом:

«Никогда я не видел море столь вздыбленным, столь ужасным, настолько покрытым пеной. Ветер не давал возможности продвигаться вперед... не позволял выйти из бухты. Поверхность моря казалась кипящей, словно вода в котле на большом огне... Ужас вселяла в нас эта буря, вода казалась багрово-красной, кровавой. Небо и море пылали днем и ночью, словно вокруг был ад, огненные искры раскалывали небо... это был настоящий потоп. Люди выбились из сил, они были настолько изнурены, что пред-

почитали смерть. Корабли теряли шлюпки, якоря, такелаж, они потеряли управление...» *. К счастью, Колумбу удалось избежать гибели.

Биологическое значение циклонов заключается в их способности переносить на огромные расстояния семена растений, а иногда — довольно крупных животных. По-видимому, именно эти ветры содействовали заселению многих вулканических и коралловых островов, возникавших в просторах океанов, и миграции растений и животных. Ураган 1865 г. принес на Гваделупу пеликанов, ранее там неизвестных.

Офицер французского фрегата «Юнона», захваченного тайфуном в Южно-Китайском море в 1868 г., оставил следующее описание: «Внезапно воцарилось абсолютное молчание, которое можно сравнить только с тишиной после взрыва мины или с безмолвием только что взятого приступом бастиона. Это спокойствие центральной зоны, спокойствие внезапное и страшное, которое вызывает скорое изумление, чем ощущение безопасности, настолько оно кажется противоестественным. Птицы, рыбы, саранча падали со всех сторон, и электрическое состояние атмосферы вызывало головокружение, которое никто из нас никогда не испытывал, выражавшееся в необычном оживлении у некоторых моряков, обычно очень сдержанных. В эту своего рода воздушную бездну были затянуты массы птиц. Среди них было много принадлежавших к семейству голенастых, и это вместе с насекомыми и обломками растений доказывало, что тайфун прошел над островами» **.

Знаменитый Великий ураган в октябре 1780 г. уничтожил город Саванну-ла-Мар (штат Джорджия, США). По свидетельству очевидца, жители окаменели от изумления, увидев приближение небывалой волны; одним гигантским шквалом сметая все препятствия, она залила город и снесла все и вся. Через семь дней буря достигла максимальной силы. Она совершенно опустошила остров Сент-Люсия, где 6000 человек погибло под развалинами, и потопила стоявший на якоре у острова английский флот. Море здесь поднялось так высоко, что затопило флот и, принеся на гребне одной из своих гигантских волн корабль, бро-

* Цит. по: Молэн П. А. Охотники за тайфунами. М., 1967, с. 269.

** Там же, с. 282.

сило его на морской госпиталь, разрушив здание тяжестью судна. Затем ураган направился к острову Мартиника, где было потоплено 40 французских транспортных судов, перевозивших 4000 солдат. Были опустошены также расположенные к северу острова Доминика, Сент-Эстатиус, Сент-Винсент, Пуэрто-Рико и потоплено большое число кораблей, оказавшихся на пути циклона.

В ночь на 13 ноября 1970 г. невероятный по силе тайфун обрушился на прибрежные районы Восточного Пакистана (с 1971 г. Народная Республика Бангладеш). Поднятая ветром мощная волна высотой до 8 м прошла над цепью густонаселенных островов. Это была колоссальная водяная стена, кипящая и бурлящая, огромный водяной вал, который выбросил океан. Сметая все на своем пути, она ударила по побережью и вместе с ураганным ветром принесла катастрофические разрушения. Несколько часов эти острова и часть материкового побережья находились под водой.

Последствия тайфуна катастрофичны: сорваны мосты, разрушены шоссе и железнодорожные магистрали, целые поселки уничтожены полностью вместе с жителями. По сообщениям газет, от тайфуна пострадало в общей сложности более 10 млн. человек. Число погибших превысило полмиллиона, а по некоторым сведениям около миллиона человек. Случилось одно из самых сильных стихийных бедствий за всю историю человечества.

Необычайной силы ураган обрушился в 1974 г. на 11 штатов Северной Америки.

Сея смерть и разрушения, ураган и сопутствовавшие ему смерчи за 8 час. оставили на своем пути, по опубликованным данным, 350 убитых, тысячи раненых и пропавших без вести. В штатах Иллинойс, Индиана, Огайо, Кентукки, Западная Вирджиния, Вирджиния, Теннесси, Северная Каролина, Алабама и Джорджия были разрушены сотни жилых домов и магазинов, школ, больниц и церквей.

Материальный ущерб, по неполным данным, оценивается в 1 млрд. долл.

Среди наиболее сильно пострадавших от урагана — город Зиния в штате Огайо. По свидетельствам очевидцев, ураган обрушился внезапно около 5 час. вечера, прогрехотал, как несущийся с огромной скоростью пассажирский поезд. В городе с 25-тысячным населением полностью или

частично было разрушено свыше 70% зданий, в том числе университет штата. Город Бранденберг перестал существовать. В Алабаме стерты с лица земли города Джаспер и Гуин.

В канун 1975 г. тропический циклон «Трэйси» почти полностью разрушил столицу северной территории Австралии Дарвин — город с населением 44 тыс. человек. Сила ветра достигала скорости 260 км/ч. Ураган срывал крыши с домов, словно мячики, перебрасывал по улицам туристские автобусы. Многочисленные коттеджи разваливались под напором ветра, как карточные домики. Но едва ли более устойчивыми оказались административные здания и многоэтажные отели. В горы щебня и обломков превращен деловой центр Дарвина. Уничтожена расположенная близ города крупная военно-морская база. Несколько кораблей затонуло.

Тайфуны (ураганы) и другие мощные движения атмосферы, обычно вызываемые циклонами, особенно сильны в тропических областях (рис. 27). Они возникают, когда воздух в каком-то месте становится легче, чем вокруг. В результате он поднимается, а на его место из окружающей среды устремляются массы воздуха более тяжелого.

Образование зон пониженного давления происходит на тропическом фронте — пограничной зоне между пассатами северного и южного полушарий или между пассатами и муссонами. В начальные стадии тропические циклоны — области пониженного давления. Только часть из них впоследствии развивается в циклон с ураганной силой ветра. Когда различия в плотностях воздуха невелики, возникает обыкновенный ветер, но чем больше эти различия, тем он сильнее. Таким образом, тайфун (ураган) — это всегда бурное заполнение зоны низкого атмосферного давления. Восходящие потоки воздуха в зоне пониженного давления приводят к конденсации значительных масс водяного пара, выделению огромного количества тепла, что в свою очередь усиливает восходящие движения.

В центре циклона возникает относительно устойчивая зона полного спокойствия, перемещающаяся над поверхностью Земли. Она находится в центре вращающихся вокруг нее сокрушительных ветров и называется «глаз». Точное предсказание пути циклона является трудной проблемой. Обычно он движется по кривой, напоминаю-

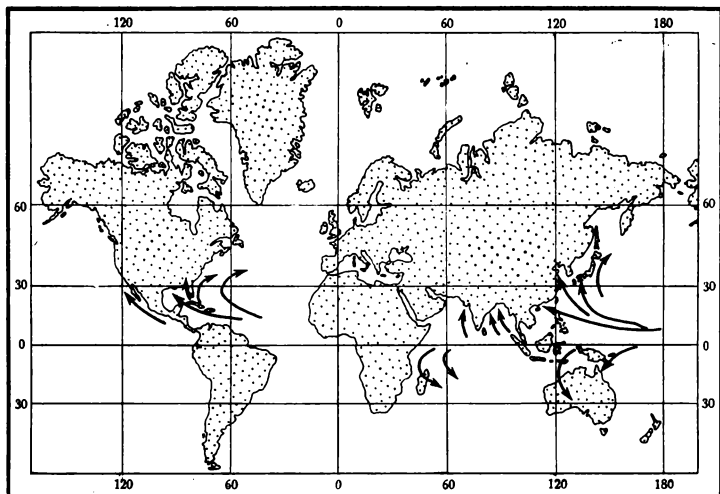


Рис. 27. Районы зарождения и основные пути движения тропических циклонов (по Л. С. Мининной)

щей параболу, со скоростью 15—20 км/ч. Но нередко, обманывая все прогнозы и расчеты, он останавливается на одном месте или перемещается с очень большой скоростью. Наличие устойчивой зоны пониженного давления («глаза» тайфуна) приводит к тому, что уровень моря в этой части повышается. Окружающая часть моря оказывается под большим давлением атмосферы, и море как бы всасывается в эту зону. В результате возникают гигантские волны, по размерам напоминающие волны цунами.

У мыса Доброй Надежды во время урагана в 1922 г. были зарегистрированы волны высотой до 30 м, а в Тихом океане — 36—37 м. Особенно значительны волны при совпадении штормовых и обычных астрономических приливов под действием Луны и Солнца. Именно такой штормовой прилив в результате урагана, совпавший по времени с обычным приливом, вызвал в 1876 г. гигантское наводнение на побережье Бенгальского залива, во время которого вода поднялась на 12—13 м. Утонуло 100 тыс. человек и столько же погибло от последовавшей эпидемии. В 1737 г. на том же побережье Бенгалии при наводнении погибло 300 тыс. человек.

«Глаз» тайфуна обычно имеет форму круга со средним диаметром 8—15 км, а в некоторых случаях достигает исключительных размеров. Так, например, у тайфуна Кармен (1960) диаметром 1500 км и высотой 15 км был «глаз» эллиптической формы в поперечнике 320 км. Скорость ветра в тропическом циклоне до 400 км/ч. При этом воздух приобретает необычную плотность. По выражению капитана одного из кораблей, попавших в тайфун, на нос его судна обрушился ветер, «сделанный из металла».

Тайфуны обычно сопровождаются ливневыми дождями чрезвычайной силы. Интенсивность ливней иногда приводит даже к изменению солености морской воды вокруг островов. При урагане в 1906 г. на острове Ямайка за четверо суток выпало 2,43 м воды, в Техасе — 0,58 м в одни сутки (для сравнения укажем, что среднее количество осадков в Москве составляет 0,5—0,7 м в год). Такие дожди могут вызвать чудовищные наводнения. В 1899 г. на маленький остров Пуэрто-Рико, имеющий примерно 90 км в длину и 50 км в ширину, в результате урагана обрушился ливень общим весом 2600 млн. т.

Имеются данные, позволяющие считать, что пониженное давление в центре тайфуна и сопровождающие его мощные атмосферные явления способствуют возникновению землетрясений, если земная кора находится в состоянии неустойчивого равновесия. Было подсчитано, что падение барометра на 50 мм рт. ст. уменьшает давление, оказываемое атмосферой на квадратную милю (2,6 км²) поверхности, на 2 млн. т. Во время тропических циклонов перепад давлений достигает 80 мм рт. ст. и более.

Менее известны, но также иногда разрушительны смерчи. Их порождают вихревые образования в облаках, являющиеся маленькими ураганами. Смерч как бы свешивается из материнского облака в виде гигантской вращающейся воронки. Там, где ее конец касается земли, начинается что-то ужасное.

Во внутренней полости смерча давление всегда понижено, поэтому туда засасываются любые предметы. Смерч, разыгравшийся однажды в Канаде, понизил уровень озера на 60 см. Удалось подсчитать, что он засосал более полумиллиона тонн воды.

Московский смерч 1904 г. начал действовать в Люблине, затем в Симоновом монастыре, Рогожском районе, Лефортове, где была уничтожена роща вековых деревьев.

В Сокольниках он прорубил просеку шириной в 400 шагов. Вторая смерчевая воронка прошла через Грайвороново, Карачарово, Измайлово и Черкизово. Возле Мытищ мальчик был поднят в воздух и живым приземлился в Сокольниках. Тогда же 100-метровый перелет совершил один московский городской.

Среди многочисленных американских смерчей самый мощный из известных Ирвинтский. Он скрутил в аккуратный сверток железнодорожный мост длиной 75 м и утопил его в реке, затем перенес церковь в городе Даусон Миллс. Она поднялась, пролетела четыре метра и еще метра два ползла по земле, вырыв глубокую яму.

Самые большие разрушения приносят так называемые расплывчатые смерчи, имеющие подчас гигантские размеры. Их часто принимают за катящиеся по земле тучи. Ширина смерча Мэттун, промчавшегося в мае 1917 г. по штатам Иллинойс и Индиана, равнялась 500 км, тогда как диаметр обычных смерчей колеблется от сотни метров до нескольких километров. Но еще более опасны группы смерчей, могущие поднять в воздух целые поселки.

МАКСИМАЛЬНАЯ СИЛА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАТАСТРОФЫ

Мы рассказали о некоторых самых значительных катастрофических явлениях на нашей планете. Естественно возникают вопросы, какой максимальной силы возможна на Земле природная катастрофа и какое из явлений (тайфун, землетрясение, вулканический взрыв, падение метеорита) способно вызвать наибольшие разрушения.

Выше подчеркивалось, что число жертв от геологической катастрофы далеко не всегда говорит о ее силе. Извержение Безымянного было сильнейшим в нашем веке, однако произошло оно в безлюдной местности. Такие землетрясения, как Ашхабадское, происходят на земном шаре по нескольку десятков в год, но для нашей страны оно явилось самой крупной природной катастрофой, так как произошло под многонаселенным городом.

Наиболее объективный способ сравнения природных катастроф — путем оценки их по размерам площади разру-

шения (опустошения). Есть еще одна возможность сопоставления — это определение энергии процесса в эпицентре.

Силу землетрясения обычно измеряют в баллах. В СССР принята 12-балльная шкала. Но сила землетрясения на поверхности Земли еще не говорит точно о величине той энергии, которая выделилась под землей. Если очаг землетрясения расположен глубоко, то землетрясение с большей энергией может проявиться на поверхности слабее, чем в случае менее энергетически сильного толчка, происшедшего вблизи земной поверхности. Для сравнения землетрясения по энергии сейсмологи пользуются магнитудой, представляющей логарифм отношения амплитуды колебания самописца сейсмографа к амплитуде эталонного землетрясения. Если магнитуды двух землетрясений различаются на единицу, это означает, что амплитуда колебаний одного из них больше другого в 10 раз.

С момента появления современной инструментальной сейсмологии сильнейшие в мире землетрясения отмечены 31 января 1906 г. на побережье Северного Эквадора и 2 марта 1933 г. под водой к востоку от северной части Японии. Правда, ни одна из этих грандиозных спазм Земли не вызвала разрушений и гибели людей, так как обе они произошли вдали от крупных населенных пунктов. Магнитуда этих землетрясений достигла 8,9. Ашхабадское землетрясение имело магнитуду 7,0. Следовательно, оно было в 100 раз слабее самого сильного землетрясения.

Землетрясение 1960 г. на Чилийском побережье имело магнитуду 8,5, Гоби-Алтайское — 8,6. Таким образом, оба этих землетрясения всего лишь в 2—4 раза уступали по силе максимальному из зарегистрированных на Земле пароксизмов. Возникает вопрос: а может ли произойти землетрясение значительно большей силы? Ведь геологические процессы продолжают на Земле многие миллионы лет, а количественные данные, полученные инструментальной сейсмологией, ограничиваются всего лишь шестью-семью десятками лет.

Геофизика и геология отвечают сейчас вполне определенно, что землетрясения более сильные, чем с магнитудой 9, на Земле произойти не могут. И вот почему. Каждое землетрясение представляет собой толчок или серию толчков, возникших вследствие смещения горных масс по

Таблица 3

Параметры землетрясения	Вариации величины параметра			
	слабейшее землетрясение, едва регистрируемое вблизи чувствительной аппаратуры	типичное разрушительное землетрясение (типа Скопье, 1963)	сильнейшее известное землетрясение	отношение максимального землетрясения к минимальному
Протяженность очага, км	0,003	30	1000	$\approx 3 \cdot 10^5 : 1$
Площадь главной трещины, км ²	10^{-5}	300	10^5	$10^{10} : 1$
Объем очага, км ³	10^{-9}	1000	10^6	$10^{15} : 1$
Длительность процесса в очаге, с	10^{-3}	10	10^2	$10^5 : 1$
Сейсмическая энергия, Дж	10^2	10^{15}	10^{18}	$10^{16} : 1$
Число событий в год на Земле	10^7	30	1	$10^{-7} : 1$
Длительность колебаний Земли, с	10^{-1}	10^3	10^5	$10^6 : 1$
Преобладающий период колебаний, с	10^{-2}	10	50	$5 \cdot 10^3 : 1$
Амплитуда смещений, см	10^{-6}	1	10^3	$10^9 : 1$
Амплитуда ускорений в эпицентре, см/с	—	300	2000	—

разлому. Сила землетрясения и его энергия (магнитуда) определяются в первую очередь размером очага землетрясения. Расчеты показали, что даже у слабых землетрясений, едва ощутимых человеком, площадь ожившего в земной коре разлома измеряется в длину и по вертикали несколькими метрами. При землетрясениях средней силы, вызывающих образование трещин в каменных зданиях, размеры очага составляют уже километры. Самые же сильные, катастрофические землетрясения имеют очаг, достигающий по протяженности 500—1000 км и уходящий на глубину до 50 км. Сравнительная характеристика слабых и сильных землетрясений, размеры очагов и величины энергии даны в табл. 3 (по Н. В. Шебалину).

У максимального из зарегистрированных землетрясений очаг равен 1000×100 км. Эта цифра уже близка к

максимальной длине разломов, известных на земной поверхности. Дальнейшее увеличение глубины очага также невозможно, поскольку на глубинах более 100 км земное вещество находится в пластическом состоянии, близком к плавлению. Следовательно, такие землетрясения, как Чилийское и Гоби-Алтайское, близки к максимально возможным. Изучение их позволяет нам оценить и вероятные последствия. Как ни страшны разрушения от таких землетрясений, они ограничены площадью определенного размера. Поскольку катастрофическое землетрясение возникает вдоль протяженного разлома, зона наибольших разрушений вытягивается относительно узкой полосой, составляющей максимум 20—50 км в ширину и до 300—500 км в длину. За пределами этой зоны подземный удар уже не имеет катастрофической силы.

Стоит сказать несколько слов относительно периодичности сильных землетрясений. Опыт изучения землетрясений, накопленный во всем мире, свидетельствует, что там, где произошло сильное, а тем более катастрофическое землетрясение, следующая сейсмическая катастрофа произойдет не скоро. Землетрясение представляет собой разрядку длительно накапливающихся в земле напряжений. Чем сильнее землетрясение, тем с большей площади, окружающей очаг, снимаются накопившиеся напряжения. Для возникновения следующего сильного землетрясения необходимо время, чтобы напряжение в земной коре снова достигло максимума.

Сколько же требуется для этого времени? В разных геологических зонах срок этот различен и измеряется от десятков лет до нескольких тысячелетий и более. В районе Ашхабада, разрушенного землетрясением, находилась мечеть Аннау, построенная в середине XV в. Она простояла в полной сохранности в течение 600 лет и в 1948 г. была полностью разрушена. Следовательно, в этом районе в течение 600 лет не было подземных толчков даже средней силы. На окраине Ашхабада проведены раскопки бывших городов Ак-тепе и Старой Нисы. По мнению профессора Г. П. Горшкова, подробно ознакомившегося с археологическими материалами, разрушение городов было вызвано землетрясениями. Первое произошло в Ак-тепе около 2 тыс. лет назад; второе разрушило дворец в Старой Нисе в I в. н. э.; третье — в 943 г. погубило в районе Старой Нисы более 5000 человек. Таким образом, перио-

дичность землетрясений в районе Ашхабада оказывается следующей: примерно одно за 1000 лет.

Случаи, когда после сильного землетрясения наступал длительный период покоя, многочисленны. Однако разрушительные землетрясения происходили и там, где за историческое время фиксированы не были. Таким образом, нет оснований предпологать, что имеются зоны, где сейсмические катастрофы повторяются очень часто.

Обратимся к вулканическим извержениям. Опыт, накопленный вулканологами всего мира, свидетельствует, что вулканическое извержение — событие относительно локальное, связанное с пробуждением какого-либо одного вулканического аппарата. Наиболее катастрофичны вулканические извержения двух типов: катмайского и вулканического (плинианского). Название первого типа родилось после извержения вулкана Катмай на Аляске в 1912 г. Мощный вулканический взрыв разрушил конус вулкана, потоки раскаленного пещлового материала исторгнулись из недр. На площади в сотни тысяч квадратных километров отложился слой пещла. Близки к этому типу извержения Безымянного (1956) и вулкана Бандай (1888). Близок к катмайскому и пелейский тип извержения — направленный взрыв без разрушения вулканической постройки, сопровождающийся мгновенным извержением раскаленных газов. Этот тип выделен специалистами после извержения вулкана Мон-Пеле в 1903 г. на острове Мартиника.

Второй тип катастрофических извержений — хорошо известные пароксизмы Везувия, а также извержения Ключевского вулкана на Камчатке, Тамбора и Кракатау. К этому же типу принадлежит и извержение Санторина в XIV в. до н. э. Все извержения данного типа сопровождаются сильными пароксимальными взрывами, происходящими обычно после периода продолжительного покоя.

Основными видами энергии действующего вулкана являются: 1) потенциальная энергия, учитываемая по изменению уровня лавы в процессе извержения; 2) кинетическая энергия, зависящая от скорости выбрасываемых продуктов и их массы; 3) тепловая энергия, включающая то тепло, которое содержится в лаве, газах и твердых частицах; 4) сейсмическая энергия и энергия воздушных масс, определяемая величиной смещения почвы (магнитудой) и изменением давления воздуха.

Общее количество энергии, необходимое для распыления 1 км^3 в пепел с размером частиц в сотые доли миллиметра (по Е. К. Мархинину), равно приблизительно $1,85 \cdot 10^{15}$ Дж. Общее же количество тепловой энергии, заключенной в 1 км^3 лавы перед извержением, равно $3,5 \cdot 10^{18}$ Дж. Термальная энергия вулкана оказывается в 1000 раз больше энергии пеплообразования.

О масштабе выделившейся энергии во время единичного катастрофического извержения можно судить по двум взрывным извержениям: Безымянного 30 марта 1956 г. и Шивелуча 12 ноября (табл. 4, по Горшкову).

Для характеристики силы извержения П. Хейдервари предложил вычислять новую величину — магнитуду извержения, которая пропорциональна выделившейся энергии. Энергию вулканического извержения, по мнению П. Хейдервари, целесообразно определять атомно-бомбовым эквивалентом, т. е. числом атомных бомб, могущих дать соответствующую энергию при взрыве. Энергия одной атомной бомбы принята $8,4 \cdot 10^{14}$ Дж. Оказалось, что взрыв Безымянного эквивалентен 4, Кракатау — 20 000, а Тамбора — 200 000 атомных бомб.

На табл. 5 сопоставлены данные об объемах выброшенного материала, размерах кальдеры, площади разрушения и энергии взрыва наиболее крупных из известных за историческое время вулканических катастроф. Нетрудно видеть, что вулканические катастрофы типа Кракатау, Тамбора принадлежат к числу максимальных по объему выброшенного материала, площади пеплопада, энергии взрыва.

Таблица 4

Параметры землетрясения	Безымянный	Шивелуч
Энергия взрывной волны, Дж	$3 \cdot 10^{15}$	$1,8 \cdot 10^{14}$
Энергия кинетическая, Дж	$1,2 \cdot 10^{17}$	$1 \cdot 10^{17}$
Энергия термическая, Дж	$3,8 \cdot 10^{18}$	$1,8 \cdot 10^{18}$
Начальная скорость взрыва, м/с	360–500	280–310
Начальное давление, атм	1500–3000	800–1000
Количество выброшенного материала, км^3	2–2,5	1,5

Таблица 5

Вулкан, год извержения	Число погибших, тыс.	Размер кальдеры, км	Объем выброшенного материала, км ³	Площадь лавы, тыс. км ²	Энергия взрыва, Дж	Атомный эквивалент	Магнитуда извержения
Шивелуч, 1964	нет	1,5×3	1,5	150	10 ¹⁴	0,1	8,8
Безымянный, 1956	нет	1,5×2	2–3	100	10 ¹⁵	4	9,0
Катмай, 1912	мало	4×4,5	15–20	250	10 ¹⁸	1 000	9,3
Кракатау, 1883	40	4,5×5	18	1000 (?)	10 ¹⁹	20 000	9,5
Тамбора, 1815	92	6×6,5	50–185	?	10 ²⁰	200 000	10,1
Санторин, 1400 до н. э.	?	7×12	70	1000	10 ²⁰	200 000	10

По силе разрушительного эффекта извержение Санторина может быть сопоставлено лишь с извержением вулкана Тамбора, а последнее — самое опустошительное, самое сильное извержение за последнее тысячелетие.

Сравним энергию землетрясения и вулканического взрыва. Энергия самого сильного из известных землетрясений достигает 10¹⁸ Дж. Это в сотни раз больше энергии взрыва Безымянного, но примерно соответствует силе взрыва вулкана Катмай. Энергия взрыва Кракатау в десятки, а Тамбора и Санторина в сотни раз больше энергии самого сильного землетрясения. По П. Хейдервари, энергия взрыва последних была минимум 10²⁰ Дж, что, по-видимому, составляет предел силы геологических цунами на нашей планете. Размер их лимитирует прочность горных пород. Больших напряжений земная кора не выдерживает — землетрясение или вулканический взрыв снимает их.

По выделившейся энергии землетрясения и вулканические взрывы можно сравнить с явлениями, вызванными падением космических тел — метеоритов и комет. Так, энергию удара Тунгусского метеорита оценивают в 10¹⁶ Дж, Аризонского метеорита — 10¹⁴ Дж. Наконец, энергия взрыва, образовавшего самый крупный из достоверно установленных кратеров — Пошигайский, приблизительно равна 10²³–10²⁴ Дж. Таким образом, максимальная из известных метеоритная катастрофа в 1000 раз сильнее самого мощного вулканического взрыва. На

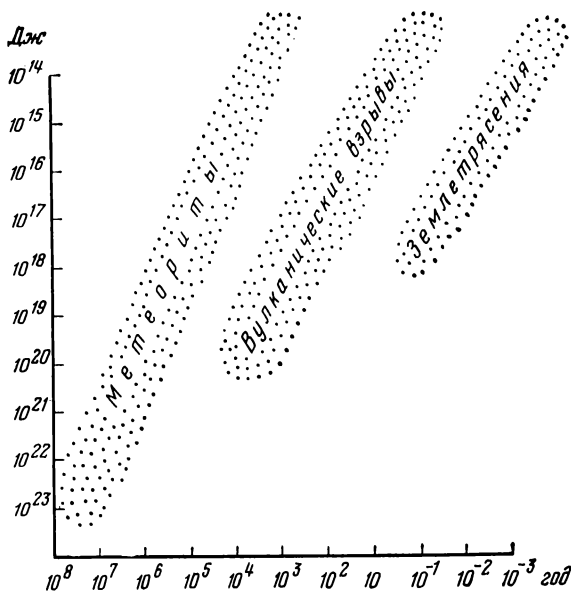


Рис. 28. Частота повторяемости различных природных катастроф

В логарифмической шкале по горизонтальной оси отложено время, по вертикальной — выделившаяся энергия

рис. 28 показана примерная повторяемость разрушительных землетрясений, вулканических катастроф и падений метеоритов.

Максимальное зарегистрированное землетрясение имеет энергию 10^{18} Дж. Такое событие происходит раз в год. Землетрясения меньшей силы встречаются чаще. Наклон линии показывает повторяемость толчков той или иной силы. Максимальная сила вулканической катастрофы в 100 раз больше, чем землетрясения, но периодичность их менее одного за 1000 лет. Да и меньшие по силе извержения случаются реже, чем землетрясения той же энергии. Поэтому линия вулканов смещена влево.

Метеориты могут вызвать максимальную из возможных на Земле катастроф, но эти события происходят еще в несколько раз реже, чем вулканические взрывы, — линия метеоритов смещена еще левее. Из рисунка видно,

что катастрофа с энергией 10^{18} Дж может быть вызвана:
 землетрясением 1 раз в год;
 вулканическим взрывом 1 раз за 200 лет;
 падением метеорита 1 раз за 50 000 лет.

Конечно, цифры эти приближенные, но они дают достаточно ясное представление о том, что землетрясения хотя и слабее по максимальной энергии, чем метеоритные и вулканические взрывы, однако они случаются намного чаще и потому принадлежат к числу наиболее опасных для человека явлений природы. Американские ученые подсчитали число жертв в результате природных катастроф.

Вид природных катастроф	Общее число жертв на Земле в 1947—1970 гг. (примерная оценка)
Циклоны, тайфуны, штормы на побережьях	760 000
Землетрясения	190 000
Наводнения	180 000
Грозы	20 000
Цунами	15 000
Извержения вулканов	7 500
Внезапная жара	5 000
Туман	3 500
Внезапный холод	3 500
Лавины	3 500
Оползни	3 000
Дожди	1 000

Среди них землетрясения занимают второе место. Лишь циклоны (тайфуны) вследствие их силы и частого проявления в тропических широтах вызывают еще большие бедствия.

ГИБЕЛЬ АТЛАНТИДЫ

Сказание об Атлантиде, родившееся в Древней Греции, вот уже более двух тысячелетий вызывает интерес. Проанализированы, разобраны и сооставлены самые различные источники — исторические, этнические, зоогеографические, астрономические и т. д. Успехи, достигнутые в результате археологических раскопок и геологического изучения морского дна, дали такой богатый материал, что

сейчас на проблему Атлантиды мы можем взглянуть по-иному. То, что раньше основывалось лишь на догадках и предположениях, получило реальное подтверждение благодаря новым фактам. Сейчас даже можно представить себе культурный уровень атлантов и описать характер геологической катастрофы, приведшей к ее гибели.

Для того чтобы ответить на вопрос, отчего погибла Атлантида, нужно знать, где она находилась. Большинство атлантологов, и в том числе наш крупнейший специалист в этой области Н. Ф. Жиров, помещали утонувшую страну в северную часть Атлантического океана.

В последнее десятилетие батиметрическая, геологическая и геофизическая изученность Атлантического океана продвинулась далеко вперед. Сейчас можно определенно сказать, что на дне центральной части Атлантического океана, в частности на срединно-океаническом подводном хребте, погрузившейся Атлантиды нет.

Наука накапливает факты в пользу того, что океаны, в частности Атлантический, относительно молодые образования (100—50 млн. лет), раньше на их месте были материки. Вполне возможно, что отдельные участки Атлантического океана включились в прогибания позже — в начале или середине третичного периода, т. е. 25—10 млн. лет назад. Но предполагать, что опускание каких-либо участков суши в центральной части Атлантического океана произошло за последние 12 тыс. лет, у нас нет оснований.

В последние годы геолого-геофизические исследования в Атлантическом океане развивались очень интенсивно. С помощью автоматических эхолотов детально изучен рельеф дна океана. Сейсмическим и магнитным методом подробно исследовано строение земной коры Центральной и Северной Атлантики. Опущенные на дно грунтоносные трубы дали обильный материал о составе и возрасте осадков на дне океана. Наконец, недавно во многих пунктах Атлантики проведено глубокое бурение дна океана со специально оборудованного для этой цели научно-исследовательского судна «Гломар Челленджер». Бурение показало, что в центральной части Атлантики, вблизи срединно-океанического хребта, развиты исключительно карбонатные осадки, мощность которых достигает многих десятков метров. В направлении к Европейскому и Американскому побережьям карбонатные илы постепенно

сменяются глинистыми, и лишь вблизи континентального склона появляются прослой топкизернистых песков. Эти новые данные свидетельствуют, что не только в последние 10—20 тыс. лет, но и 5—10 млн. лет назад какой-либо суши в пределах центральной части Атлантического океана не было. Снос тонкообломочного материала в океан шел только с окраин океана. До центральной части Атлантического океана морские течения не доносили даже мельчайших глинистых частиц, и там накапливались лишь карбонатные осадки, образующиеся в результате гибели живущих в воде организмов. Если бы в центральной части Атлантического океана хотя бы временно существовала суша, то сносимый с нее обломочный материал обязательно был бы обнаружен в осадках этой части океана.

Современные представления о геологических процессах, происходящих сейчас или случившихся в недалеком геологическом прошлом, позволяют сузить число природных явлений, которые способны вызвать катастрофу, сколько-нибудь близкую описаниям Платона.

Казалось бы одной из самых естественных причин гибели Атлантиды было поднятие уровня океана или же опускание суши, где Атлантида находилась. Известно огромное число примеров, когда на дне озер, морей и океанов находят развалины строений и целых городов, которые тысячу лет назад располагались на суше или даже вдали от моря. Поднятия и опускания океанического дна захватывают обширные пространства. Так, значительная часть Нидерландов постоянно погружается. Чтобы морская вода не проникла в обжитые районы и не залила пастбища, нивы и города, голландцам постоянно приходится нарапывать дамбы, защищающие их страну от вторжения вод Северного моря.

Сколь ни заманчиво объяснение гибели Атлантиды общим опусканием острова, оно не может быть приято: в опускании суши нет ничего катастрофического. Поднятия и опускания на земной поверхности, обусловленные геологическими причинами, происходят повсеместно. Максимальные скорости поднятий и опусканий земной коры измеряются несколькими миллиметрами в год. Для того чтобы равнинная страна погрузилась хотя бы на несколько метров, необходимо время, измеряемое тысячелетиями. Если же вспомнить, что, по описанию Платона, Атланти-

да изобиловала горными хребтами, то очевидно, что от этой причины придется отказаться.

Необычайная медленность геологических поднятий и опусканий смущала многих атлантологов, и некоторые из них в поисках причин, резко ускоряющих опускание суши, обратились к так называемым эвстатическим колебаниям уровня Мирового океана. Что это такое?

Как известно, в недалеком геологическом прошлом наша планета пережила несколько эпох оледенения. За время оледенения огромное количество воды было превращено в материковый лед, покрывающий тысячеметровым панцирем значительные пространства на Севере Европы, Азии и Америки. В ледяном щите скопилось столько влаги, что уровень воды в Мировом океане понизился на 100 м. Когда же лед начал таять, то уровень Мирового океана вновь стал расти и в конечном счете поднялся на те же 100 м. Поднятия уровня океана на подобную высоту достаточно, чтобы поглотить многие страны. Однако сколь ни заманчива такая причина для объяснения гибели Атлантиды, она также нереальна.

Потепление в конце последней ледниковой эпохи не имело катастрофического характера. Изучение радиоуглеродным методом органических остатков, обнаруженных в поздне- и послеледниковых отложениях, и палеоботанические материалы свидетельствуют, что повышение уровня океана в конце ледниковой эпохи было постепенным. На первых этапах таяния льда уровень в океане повышался на 12—7 мм/год, а затем (примерно 6 тыс. лет назад) — всего лишь на 2—1 мм/год.

Утопить Атлантиду в результате «обычных», т. е. постоянно и повсеместно происходящих, геологических процессов не удастся. В таком случае причину гибели легендарного материка следует искать в явлениях случайных, катастрофических. Такого рода события могут быть подразделены на две группы: а) космические события, б) геологические катастрофы.

Большее внимание атлантологов привлекают космические причины гибели Атлантиды. Известный польский астроном Л. Зайдлер выдвигает их на первый план. Он предлагает несколько различных вариантов космических катастроф, а именно встречу Земли с астероидом, падение кометы и т. п. Рассмотрим, насколько правомочна эта гипотеза.

Гибель крупного района в результате падения метеорита — дело реальное. Следует подчеркнуть, что до последних лет роль таких катастроф в историческом прошлом нашей планеты преуменьшалась, так как поверхность Земли была еще недостаточно обследована и большинство известных метеоритных кратеров не было обнаружено. Переоценка представлений о масштабе подобных метеоритных катастроф произошла в последние годы в связи с успехами изучения Луны, Марса, Меркурия и других планет.

И все же такая причина гибели Атлантиды, хотя в принципе и возможна, маловероятна. И дело не только в том, что падение крупных метеоритов — явление необычайно редкое (за исторический период жизни человечества мы не знаем достоверных случаев такого падения). Как бы ни велик был упавший на Землю метеорит, он не мог образовать на месте своего падения океанической впадины. Даже в таком метеоритном кратере, как Попигайская котловина в Сибири, поверхность кратера лишь на несколько десятков (максимум сотен) метров ниже пространства, находящегося за пределами взрыва. Таким образом, если легендарную Атлантиду настиг гигантский метеорит, то она, конечно, была бы уничтожена, но отнюдь не погрузилась бы на океаническое дно. Такой крупный метеоритный кратер, измеряемый десятками километров, был бы обнаружен, и в особенности в последнее десятилетие, когда весь земной шар покрыт фотосъемкой с самолетов и спутников.

Возможна ли гибель Атлантиды в результате встречи Земли с кометой? Если судить по силе взрыва и размерам пораженной площади, то несомненно. Однако комета могла лишь разрушить и сжечь легендарную страну, но не уничтожить ее, а тем более не опустить под уровень моря. Если бы такая катастрофа и произошла, то сохранились бы развалины разрушенного государства атлантов. Космические причины, сколь ни заманчивыми кажутся они на первый взгляд, при внимательном анализе должны быть оставлены.

Обратимся к геологическим процессам катастрофического характера. Здесь внимание должны привлечь три явления, служащие постоянным источником человеческих бедствий: землетрясения, извержения вулканов и цунами,

За историческую эпоху произошли сотни разрушительных землетрясений, в результате которых на теле Земли образовались гигантские трещины, возникли крупные обвалы горных масс, разрушились города, погибли тысячи людей. Наиболее полно изучены катаклизмы последних двух столетий.

Землетрясение, в особенности на берегу океана, значительно ближе по характеру проявления к описаниям Платона, чем космические катастрофы. Существенно также и то, что даже самые сильные сейсмические пароксизмы происходят в тысячу раз чаще, чем падение крупных метеоритов.

Мы писали, что такие землетрясения, как Чилийское, можно считать близкими к максимально возможному. Изучение их позволяет оценить вероятные последствия максимально возможного сейсмического катаклизма. Поскольку катастрофическое землетрясение возникает вдоль протяженного разлома, зона наибольших разрушений вытягивается относительно узкой полосой, составляющей максимум 20—50 км в ширину и до 300—500 км в длину. За пределами этой зоны подземный удар уже не имеет катастрофической силы. Вследствие ограниченной по ширине зоны разрушения целая страна, в том числе Атлантида, не была бы разрушена целиком одним толчком, каким бы сильным он ни был.

Во время катастрофических землетрясений происходит опускание (или подъем) значительных площадей, измеряемых десятками тысяч квадратных километров. Если подвергнутая землетрясениям зона расположена вблизи моря, то такое явление может привести к опусканию под уровень моря обширной территории, как во время Байкальского землетрясения 1861 г. Тогда в дельте реки Селенги ушла под воду так называемая Цыганская степь площадью более 200 км².

Такое явление как будто бы напоминает обстановку, переданную Платоном,— Атлантида ушла под воду. Однако с помощью землетрясения утопить Атлантиду невозможно. Дело в том, что одно катастрофическое землетрясение опустит прилежащую к эпицентральной линии зону лишь на несколько метров, не более. Следовательно, развалины Атлантиды на прибрежном дне смог бы обнаружить не только аквалангист, но и любой купающийся.

Землетрясение способно разрушить часть государства атлантов, превратить в руины его столицу, но оно не могло бесследно погрузить Атлантиду в пучины океана.

Могло ли быть причиной гибели Атлантиды гигантское цунами? Как известно, цунами возникают при подземном ударе или вулканическом взрыве, происшедшем близ моря.

Цунами от подводных землетрясений практически нет в Атлантическом океане. Нет, потому что подо дном этих океанов не происходит цунамигенные землетрясения.

Остановимся на возможности возникновения волн цунами в Средиземном море. Греческий сейсмолог А. Галанопулос посвятил этому вопросу специальную статью. Собранные им сведения показали, что цунами, возникающие у побережья моря, вызываются двумя причинами: подводными землетрясениями, извержениями вулканов под водой и вблизи воды. Выяснилось, что высота волн цунами от землетрясений невелика, значит, и катастрофических разрушений на берегу быть не может.

В предыдущей главе было показано, что по выделившейся энергии, размерам площади, подверженной опустошению, вулканические взрывы не имеют себе равных. Их опасность для человека заключается также и в том, что их сопровождает ряд катастрофических явлений: ударная волна, пеплопад, цунами.

Выяснение максимально возможной силы геологической катастрофы имеет исключительное значение для решения проблемы Атлантиды. Во-первых, если дословно следовать тексту Платона, где сказано, что Атлантида была больше Ливии (Африки) и Азии (Малой Азии), вместе взятых, то очевидно, что для полного уничтожения такой огромной страны необходима геологическая катастрофа в тысячи раз большая, чем нам известные. Во-вторых, для наших дальнейших выводов чрезвычайно важно, что извержение Санторина в XIV в. до н. э., связываемое нами с гибелью минойской морской державы, является одним из максимально возможных геологических катаклизмов, значит, если мы хотим объяснить уничтожение Атлантиды геологической катастрофой, то Санторинское извержение, судя по силе взрыва и площади опустошения, подходит для этой цели больше, чем что-либо иное.

О существовании 4—5 тыс. лет назад на островах Эгейского моря крупного морского государства с высокой культурой до начала нашего века почти ничего не было известно. В марте 1900 г. на острове Крит начал вести раскопки английский археолог А. Эванс. Уже первые месяцы работы дали потрясающие результаты. Были обнаружены развалины огромного дворца с великолепными фресками, который множеством комнат, переходов и двориков поразительно напоминал Лабиринт, известный из древнегреческого мифа о Тезее.

Благодаря археологическим раскопкам в Кноссе, а также на месте других древних поселений Крита и Кикладских островов мир узнал о существовании новой крито-микенской культуры, о могучей морской державе, господствовавшей в Средиземноморье в III—II тыс. до н. э. Открытие Эванса совершенно по-новому осветило и проблему Атлантиды.

В печати появились сообщения о том, что в Эгейском море, на острове Тира Санторинского архипелага, в 120 км к северу от Крита, ведутся раскопки древнего города, засыпанного вулканическим пеплом. Обнаруженные произведения искусства и ремесел принадлежат к периоду расцвета крито-микенской культуры. В южной части острова Тира под многометровой толщей вулканического пепла обнаружены засыпанные пеплом целые кварталы домов, в том числе и многоэтажные.

Одни с небольшими лоджиями, другие — с вестибюлями и каменными скамьями. Высокие општукатуренные коридоры ведут во внутренние комнаты с многочисленными нишами и выступами. В главных помещениях сооружены камины. Стены красочно расписаны.

Фрески, обнаруженные на стенах домов, запечатлели голубизну неба, зелень деревьев, цветущие лилии, крокусы, мирты, вьющийся плющ. Изображений лилии на керамике много, даже целая комната разрисована лилиями. Найдено большое число ритуальных сосудов, фигурок жертвенных животных и маленьких жертвенников. Открыты фрески, на которых в натуральную величину представлена процессия женщин со священными дарами. Увидела свет и другая прекрасная фреска, с полуобнаженными женскими фигурами.

Раскопки позволяют представить себе первоначальные размеры доисторического города. Предполагают, что ап-

тичный город когда-то тянулся поперек всего острова. В те времена на краю кратера проживало до 30 тыс. человек. При взрыве Санторина и погружении кальдеры северная часть города погибла. Южная была частью засыпана, а часть ушла под воду.

В 1939 г. на страницах английского журнала «Антиквити» появилась статья С. Маринатоса с изложением гипотезы, согласно которой первопричиной гибели минойской цивилизации было колоссальное извержение Санторина. Тогда же был разрушен и Крит. Обращалось гакже внимание на то, что описанная Платоном цивилизация, в которой интенсивно применялась бронза, напоминала минойскую, разрушенную за 900 лет до эпохи Солона.

Не за 9000 лет, как писал Платон, а за 900. Греческий сейсмолог А. Галанопулос обратил внимание на то, что цифры различаются ровно в 10 раз, и высказал предположение, что Солон, не знавший египетского языка и разговаривавший с египетскими жрецами через переводчика, ошибся и принял египетское обозначение цифры 100 за 1000. Но в таком случае и другие цифры, приведенные в описании Платона об Атлантиде, должны быть более в 10 раз? Галанопулос проверил все измерения, приведенные Платоном, и пришел к заключению, что размеры страны, каналы, рвы вокруг замков, число кораблей и все другие упоминаемые в предании предметы были преувеличены в 10 раз. Хорошо зная географию, Платон понимал, что такое большое царство не могло находиться в Средиземном море. Поэтому, считает Галанопулос, он переместил столбы Геракла от Пелопоннеса к Гибралтару, а остров Атлантиду — в океан, расположенный за Иберийским полуостровом.

Помещая исчезнувшую страну Платона в район Эгейского моря и связывая ее гибель с извержением Санторина, мы можем достаточно полно восстановить размеры легендарной Атлантиды, представить существовавший там расцвет культуры и искусства и описать ее трагедию.

Попытаемся вообразить масштабы катастрофы, происшедшей за 1400 лет до н. э. в Эгейском море и ставшей причиной гибели Минойского царства. Некоторое представление об этом может дать сравнение минойского извержения Санторина с катастрофой в Зондском архипелаге, когда взорвался вулкан Кракатау. Исследования многих геологов показали, что механизм образова-

ния кальдер обоих вулканов был сходен. Но кальдера Кракатау своими размерами существенно уступает кальдере Санторина. В три—четыре раза бóльшая площадь кальдеры, а также слой тефры толщиной до 30 м, сохранившийся на островах Тира, Тирасия и Аспрониси, позволяют считать, что минойское извержение Санторина было более катастрофичным, чем пароксизм Кракатау.

Нужно думать, что событие это, как и в 1883 г. в Зондском архипелаге, было не мгновенным, а продолжалось несколько часов, а может быть и дней. «В один день и бедственную ночь...» — рассказывает Платон.

Минойскому извержению Санторина предшествовал длительный период затишья. Вулканический пепел лежит на породах, которые до извержения длительное время находились на поверхности земли и были сильно выветренными. Но в таком геологически активном районе покой не вечен. Раскопки на Тире дают свидетельство тому, что гигантскому извержению предшествовали землетрясения, разрушившие некоторые здания. Случались и вулканические извержения, не ставшие, однако, разрушительными,— на слоях пепла и пемзы, покрывших обломки от землетрясений, заметны следы жизни, которая продолжалась и после начавшихся стихийных бедствий.

Поразительной особенностью вулканической катастрофы является то, что, в отличие от Помпей, в пепле не обнаружено человеческих останков. Мы должны сделать вывод, что еще до основного извержения жители Атлантиды успели бежать из города. Схватив самое ценное, они устремились к берегу. Успели собрать и вынести к берегу глиняные сосуды, но уже не смогли их захватить с собой. Об этом говорят раскопки на Тире. При извержении вулкана Безымянного пепловая туча поднялась на высоту до 40 км. В Усть-Камчатске, расположенном в 120 км от вулкана, т. е. на таком же расстоянии, как Крит от Санторина, туча заслонила весь горизонт, и вскоре там стало темно, как ночью. По-видимому, подобное явление наблюдалось и в начале извержения Санторина. Грохот и черная туча, подымавшаяся над вулканом, привели в смятение жителей минойской державы, заставили их выбраться из домов, бежать дальше от разбушевавшейся стихии. Несомненно, Крит меньше пострадал от вулканической катастрофы, чем остров Атлантида, однако не следует и преуменьшать гибельные для Крита послед-

ствия извержения на Санторине. Вероятнее всего, на Крите, как и на Кикладских островах, одновременно сказалось влияние всех последствий вулканической катастрофы.

Первое следствие санторинской катастрофы — взрывная волна. При извержении Кракатау грохот был слышен на площади, равной $\frac{1}{13}$ земного шара. Воздушные ударные волны разбили стекла в домах и на расстоянии 150 км, а в некоторых случаях были повреждены и старые дома на расстоянии 800 км от Кракатау. Кальдера Санторина площадью 83 км² и слой пепла в 30 м на ее обломках — островах Тира, Тирасия, Аспрониси позволяют думать, что минойское извержение было сильнее извержения Кракатау. Значит, на Кикладских островах и на Крите, расположенных в 100—150 км от Санторина, взрывная волна должна была вызвать существенные разрушения.

Подземные толчки практически всегда сопровождают вулканические извержения. Столь грандиозное геологическое событие, как извержение Санторина, почти несомненно сопровождалось подземными ударами. Землетрясения же даже средней силы способны разрушить или повредить каменные постройки. Разрушение городов на Крите и Кикладских островах от землетрясения — второе следствие вулканической катастрофы.

Вслед за грохотом вулканических взрывов, землетрясением, из поднявшейся черной тучи начался пеплопад, засыпавший поселения древнего Санторина. Пеплопад способствовал частичному сохранению минойских построек, как полторы тысячи лет спустя пепел Везувия засыпал и сохранил до наших дней город Помпеи. Когда вслед за извержением и взрывами началось обрушение кальдеры Санторина, на Атлантиде оказались уничтоженными лишь те постройки, которые находились в пределах осевшей кальдеры. Строения же на острове Тира, засыпанные 30-метровым слоем пепла, сохранились до наших дней.

Пеплопад, как мы теперь знаем, происходил в течение трех следовавших друг за другом извержений Санторина, из которых первое было наиболее сильным и пеплообильным. На Атлантиде слой пепла измерялся десятками метров, т. е. его было более чем достаточно, чтобы засыпать все.

На материале по Исландии — одного из наиболее активных вулканических районов мира — изучено губительное влияние пеллопадов на сельское хозяйство. Проанализировав исторические материалы, ученые установили, что местное население покидало поселки в тех случаях, когда слой свежевывающего пепла достигал 10 см или был больше, и не возвращались до тех пор, пока вода и ветер не сносили пепел. На это требовалось несколько десятилетий, а то и больше.

После минойского извержения центральная и восточная части Крита и все Кикладские острова были засыпаны слоем пепла толщиной более 10 см. Следовательно, там не только погиб весь урожай, но и образовалась безжизненная пустыня, которую, конечно, покинули люди.

Есть некоторые свидетельства того, что подземные толчки, взрывы и обрушение кальдеры, сопровождавшие извержение Санторина в XIV в. до н. э., вызвали очень сильные цунами. На острове Анафи, расположенном в 25 км восточнее Санторина, обнаружен слой тефры толщиной 5 м, расположенный в верховьях одной из долин на высоте 250 м над уровнем моря. Состоял он в основном из пемзы, которая обычно образуется в воде. По мнению исследователей, эта пемза отложилась в море во время минойского извержения Санторина, а затем волной цунами была занесена на сушу. Несомненно, цунами от санторинской катастрофы было одним из сильнейших. Северный берег Крита наиболее открыт для разбушевавшейся стихии. После распада острова Атлантиды весь северный берег Крита должен был быть затоплен в течение 20—30 мин.

Признаки разрушительного действия санторинского цунами обнаружены на восточном побережье Средиземного моря во время археологических раскопок в Сирии. Порт и половина древнего города Угарит разрушены морской волной около 1400 г. до н. э. Финикийская поэма, найденная в библиотеке Угарита, рассказывает о разрушении, вызванном ураганом и цунами.

Санторинская катастрофа не только вызвала колоссальные по площади разрушения на Кикладских островах и Крите, но и погубила множество людей. Были жертвы и на других островах Эгейского моря. Наибольшее число жертв принесло, несомненно, цунами. Прибрежные поселки и население приморских городов было

уничтожено нахлыпавшими морскими волнами. В отличие от Крита и Кикладских островов материковая Греция меньше пострадала от катастрофы. Пеплопад под действием ветра распространился от Санторина главным образом к юго-востоку. Волны цунами также оказались для материковой Греции менее опасными, поскольку большая часть населения Греции того времени занималась скотоводством и жила в горах. Большинство городов было расположено за пределами досягаемости волн. Это видно на примере городов Тиринф или Микены, расположенных на холмах. Они слабо пострадали от санторинской катастрофы и после гибели Критского государства остались наиболее крупными очагами эгейской культуры.

БЫЛ ЛИ ВСЕМИРНЫЙ ПОТОП?

В древних сказаниях и легендах, передаваемых из поколения в поколение, нередко отражены реально происходившие события. Наиболее яркий пример тому — открытие Тров Г. Шлиманом, поверившим в историческую достоверность событий, изображенных Гомером, или подтверждение метеоритного происхождения Аризонской впадины, сделанное на основании преданий, сохранившихся у местных индейских племен.

По мнению академика В. А. Обручева, разрушение городов Содома и Гоморры, находившихся в Малой Азии, где и в настоящее время происходят движения земной коры, могло быть связано с землетрясением. Он писал: «Как доказала геология, [Мертвое море] расположено в... провале, которым заканчивается крупная зона опускающий и провалов, идущая из центра Африки вдоль больших озер и затем представляющая большую впадину Красного моря и долину Мертвого моря с Иорданом. Поэтому вполне возможно, что Библия описывает в искаженной форме действительно событие, случившееся в древние времена, — провал двух городов при землетрясении» *.

Видимо, и поэтическое русское предание о «невидимом граде Китеже», погрузившемся на дно озера, возник-

* Обручев В. А. Занимательная геология. 2-е изд. М., 1965, с. 294.

ло после какого-то землетрясения. Оно могло быть связано с разрывом подземными водами известняков, слагающих мощные толщи в различных районах европейской части СССР. Подобного рода землетрясения дважды отмечены в летописях — во Владимире в 1230 г. и в Москве в 1446 г.

Естественно, что легенды о землетрясениях более всего распространены у народов, издавна населяющих области повышенной сейсмической активности.

Часть мифов о происхождении землетрясений свидетельствует о желании глубже разобраться в их причинах, связанных с непонятными явлениями. Например, японцы полагали, что землетрясения производят огромные киты, ползающие под землей. На эту мысль, вероятно, навели остатки ископаемых костей вымерших животных. Коренные жители Сибири, находя в земле кости и клыки мамонтов, приписывали их огромным, живущим в норах животным и предполагали, что, когда эти животные ползают, земля колеблется.

Среди всех известных нам преданий наибольшее внимание привлекает легенда о потопе.

«...Спустя семь дней воды потопа пришли на землю. В шестисотом году жизни Ноевой, во втором месяце, в семнадцатый день месяца, в этот день разверзлись все источники великой бездны, и окна небесные отворились. И был дождь на земле сорок дней и сорок ночей... И было наводнение сорок дней на земле, и умножалась вода, и подняла ковчег, и он возвысился над землей. И усиливалась вода и весьма умножалась на земле, и плавал ковчег на поверхности вод. И вода усилилась чрезвычайно на земле, так что покрылись все высокие горы, какие есть под всем небом. На пятнадцать локтей поднялась над ними вода, и покрылись горы. И лишилась жизни всяка плоть, движущаяся на земле: и птицы, и скоты, и звери, и все гады, ползающие по земле, и все люди. Все, что имело дыхание духа жизни в ноздрях своих, все, что на суше, умерло. И истребилось всякое существо, которое было на поверхности земли; от человека до скота, и гадов и птиц небесных, истребились они на земле: остался только Ной и что с ним в ковчеге. И усиливалась вода на земле сто пятьдесят дней. И вспомнил бог о Ное, и о всех зверях, и о всех скотах, бывших с ним в ковчеге; и навел бог ветер на землю, и воды оста-

новились. И закрылись источники бездны и окна небесные, и перестал дождь с неба. И возвращалась вода с земли постепенно, и стала убывать вода по прошествии ста пятидесяти дней. И остановился ковчег в седьмом месяце, в семнадцатый день месяца, на горах Араратских. И вода постепенно убывала до десятого месяца: в первый день десятого месяца показались верхи гор». Так описывается в Библии одна из величайших катастроф — всемирный потоп, память о котором сохранялась в течение многих веков.

Легенды о потопе (иногда в письменном виде) имеются у очень многих народов, населяющих различные части земного шара. Согласно японскому варианту, первый властитель Японии, живший до потопа, поселился на островах сразу после того, как вода стала убывать.

В рукописях древней Мексики сохранилось предание о всемирном потопе, уничтожившем на Земле негодную богу расу великанов. Все люди превратились в рыб, за исключением одной пары, спрятавшейся в ветвях дерева.

В «Священной книге» индейцев киче из Гватемалы сохранилось предание об уничтоживших все живое огромных массах воды и огненного дождя, посланным богом страха Хураканом людям в наказание: «Большая волна поднялась и настигла их; тела мужчин были сделаны из пробки, а женщин — из тростниковой сердцевины. За то, что они забыли своего творца и не благодарили его, они были умерщвлены и потоплены. Смола и деготь лились с неба... Земля погрузилась в мрак, днем и ночью шли сильные дожди... И люди в ужасе бросались с одного места на другое; они взбирались на дома, но дома разрушались и погребали их; они влезали на деревья, но деревья сбрасывали их со своих ветвей; они старались укрыться в пещерах, но пещеры закрывались; и таким образом все погибли».

У индейцев Калифорнии герой многих мифов Койт, подобно Ною, спасся от потопа, сопровождавшегося огненным дождем.

Воспоминания об ужасном наводнении, залившем самые высокие горные вершины, сохранились и в мифах канадских индейцев.

Интересно, что во всех легендах о потопе у жителей Нового Света упоминаются землетрясения и извержения вулканов.

В рассказе индейцев из племени яганов, населяющих архипелаг Огненной Земли, в качестве причины потопа фигурировало какое-то космическое явление, возможно, это было падение в море крупного метеорита: «...много столетий назад Луна упала в море. Морские волны поднялись, подобно воде в ведре, если бросить в него большой камень. Это вызвало наводнение, от которого спаслись лишь счастливые жители этого острова, оторвавшегося от морского дна и плававшего по морю. Даже горы на материке были залиты водой... Когда, наконец, Луна вышла из морской пучины, а вода стала убывать, остров вернулся на прежнее место».

Легко убедиться, что предания о потопе сохранились в памяти народов всех континентов земного шара. Лишь только во внутренних районах Азии и Африки, удаленных от морей и крупных рек, сказания о потопе относительно редки (рис. 29).

Невольно возникает вопрос: если сказания о потопе столь повсеместны, то не свидетельствует ли это о глобальном явлении, захватившем все континенты, т. е. не был ли потоп действительно всемирным?

Изменение положения границ суши и моря постоянно происходит в истории Земли. Неоднократная смена морских условий континентальными — явление повсеместное и характерное для геологической истории нашей планеты.

Такие трансгрессии (наступления) и регрессии (отступления) моря вызываются геологическими причинами. В эпохи горообразования, когда контрастность рельефа увеличивается, происходят регрессии моря: в этот период воды Мирового океана концентрируются в глубоководных впадинах. Моря становятся глубже, а горы — выше. Наоборот, в эпохи относительного тектонического покоя, когда рельеф дна морей и суши постепенно выравнивается, воды Мирового океана тонкой пленкой покрывают невысокие равнины континентов — наступает очередная трансгрессия моря.

В геологической истории Земли наиболее крупные трансгрессии были в конце кембрия — начале ордовика, в каменноугольном, юрском и меловом периодах.

Однако подобного рода изменения очертаний суши и моря, происходящие необычайно медленно, к катастрофическим явлениям отнесены быть не могут.

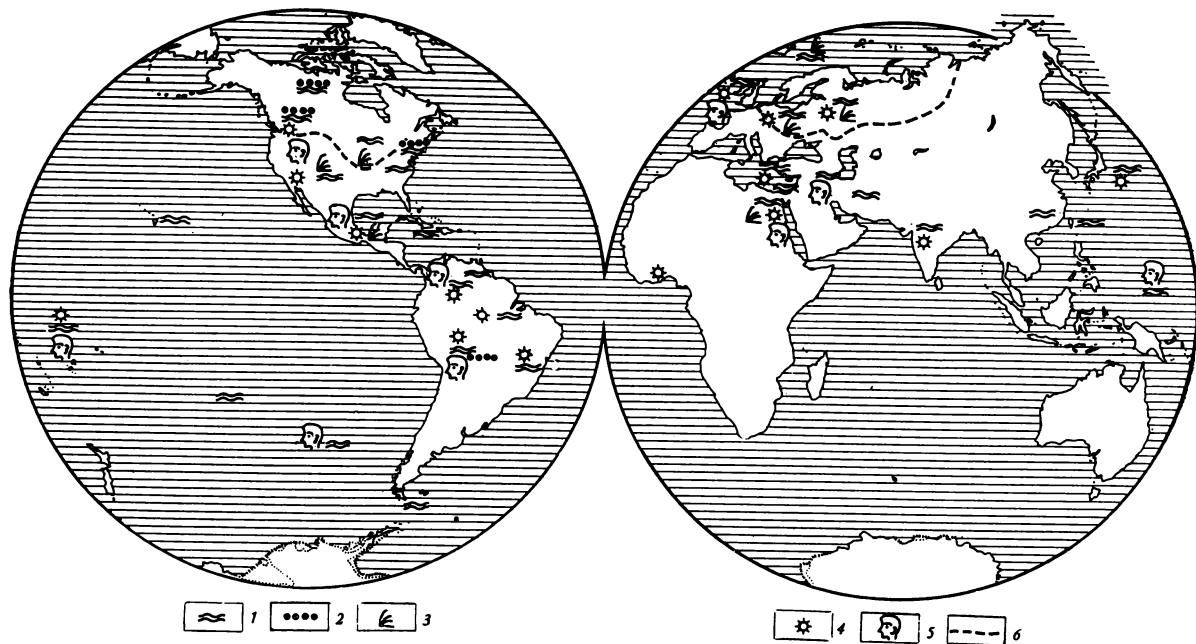


Рис. 29. Распространение мифов о потопе (по Л. Зайдлеру)

1 — легенды о потопе; 2 — упоминание о льдах или морозах; 3 — упоминание о вулканах и землетрясениях; 4 — упоминание о необычайном атмосферном явлении; 5 — рассказы о пришельце из-за моря; 6 — граница оледенения в северном полушарии

Значительно проще объяснить катастрофы с помощью колебаний уровня Мирового океана, вызываемых изменением в нем количества воды. Еще сравнительно недавно (с геологической точки зрения, конечно), примерно 10—20 тыс. лет назад, льды покрывали значительную часть Северной Европы и Америки. Потом лед растаял. В результате Мировой океан дополнительно получил такое количество воды, что уровень его поднялся на 100 м.

Как будто бы объяснение всемирному потопу найдено. Таяние ледников не так уж сильно разнится с библейским и другими преданиями, а повсеместное повышение уровня океана — это же полное затопление всех приморских стран.

Но сколь ни заманчиво объяснение легенд о потопе таянием материковых льдов или, точнее, эвстатическими колебаниями уровня океана, вызванными этим таянием, от подобной гипотезы приходится отказаться. Дело в том, что естественное таяние ледников — процесс чрезвычайно медленный, длящийся много веков, и, конечно, он, как, впрочем, и любое другое геологическое или метеорологическое явление, не может послужить толчком к одновременному на всем земном шаре катастрофически быстрому и значительному по величине подъему уровня океана.

Многочисленные легенды о потопе, несомненно, связаны с теми или иными локальными явлениями, вызвавшими внезапный подъем уровня воды.

Можно назвать три или четыре наиболее вероятные причины потопов. Безусловно, одна из самых частых — цунами. По эффекту к ним близки и волны от падения в море крупного метеорита (правда, такое случается гораздо реже).

Подводные землетрясения и метеориты способны вызвать лишь кратковременное нашествие волны. Между тем из многих сказаний известно, что потоп длился несколько дней, а то и недель. Очевидно, причиной длительного подъема воды было другое явление — сильные ветры, которые гнали морскую воду в устья крупных рек и как бы запирали их естественной плотиной. Таким путем происходят наиболее сильные наводнения. Пример относительно слабого наводнения этого типа — подъем уровня воды в Неве, описанный А. С. Пушкиным в поэме «Медный всадник».

Причиной потоков могли быть и случайные прорывы воды из замкнутых водоемов и бассейнов в результате землетрясений, карстовых процессов и т. д. Мощные горные обвалы и оползни в состоянии запрудить даже самую крупную реку и вызвать сильное наводнение.

Наконец, тайфуны. П. А. Молэн считает, что, кроме тайфуна, ни одно геофизическое явление не способно породить потоп одновременно с помощью ливня и гигантских волн, похожих на волны цунами. Несомненно, упоминаемые в легендах потоки в большинстве случаев относятся именно к этой категории. Но вернемся к библейской версии потопа как наиболее известной. Лишь в конце прошлого века было установлено, что непосредственный источник библейской легенды — ассирийский миф о Гильгамеше, записанный клинописью на глиняных табличках в XXI в. до н. э. Всемирный потоп произошел в глубокой древности, и спасся от него в ковчеге с различными животными ассириец Утнаписты, который так рассказывает об этом событии Гильгамешу: «...нагрузил его (ковчег) всем, что имел я. Нагрузил его всем, что имел серебра я, нагрузил его всем, что имел я золота, нагрузил его всем, что имел живой я твари, поднял на корабль всю семью и род мой, скот степной и зверье, всех мастеров я поднял...

Утром хлынул ливень, а ночью хлебный дождь я увидел воочию. Я взглянул на лицо погоды — страшно глядеть на погоду было...

Первый день бушует южный ветер, быстро налетая, заполняя горы, словно войной, людей настигая. Не видят один другого...

При наступлении дня седьмого буря с потоком войну прекратила... Успокоилось море, утих ураган — потоп прекратился...

В двенадцати поприщах поднялся остров. У горы Ницир корабль остановился. Гора Ницир корабль удержала, не дает качаться...».

В описаниях потопа в Библии и в мифе о Гильгамеше нетрудно найти весьма существенные различия. Если в Библии ничего не говорится относительно ветра, сопровождавшего потоп, то в ассирийском источнике указания на ветер самые прямые. Напротив, в Библии указывается, что ветер способствовал прекращению наводнения («...и навел бог ветер на землю, и воды остановились»).

Совершенно по-иному выглядит и длительность потопа. Если по Библии потоп длился почти год, то по ассирийским источникам — всего лишь семь дней.

В то же время описание строительства ковчега, а также метод, с помощью которого Утнапишты и Ной определяли уровень падения воды, удивительно совпадают. Первый выпускал из ковчега сначала голубя, который вернулся, не найдя места для отдыха, затем — ласточку; Ной с той же целью выпускал ворона и дважды — голубя. «И возвратился к нему голубь в вечернее время; и вот сорванный маслиничный лист во рту у него: и узнал Ной, что вода убыла с земли».

Вавилонский историк и жрец Берос, живший примерно в 330—260 гг. до н. э., в «Истории Халдеи» также утверждает, что, согласно преданиям, в его стране произошло сильное наводнение.

Удивительное сходство ассирийской легенды с библейской, доходящее до полного тождества отдельных выражений, указывает на то, что библейская версия — лишь пересказ халдейского (ассирийского) предания. К такому выводу сейчас пришли все известные ассирологи.

Халдейская история низводит потоп до очень малых и вполне правдоподобных размеров — дождь идет только семь дней, вода не покрывает вершин гор. Остановка судна на горах Ницир в то время, когда потоп достиг своего максимума, дает нам представление о высоте поднятия воды. Высота гор Ницир — около 400 м.

Известный австрийский геолог Э. Зюсс первым воспользовался сведениями о потопе, записанными клинописью и обнаруженными при раскопках в Ниневии. Он пришел к следующим выводам: под потопом нужно подразумевать случившееся в низовьях Евфрата опустошительное наводнение, захватившее Месопотамскую низменность; главная его причина заключалась в наступлении на материк волны цунами, образовавшейся от землетрясения в районе Персидского залива или южнее его; очень вероятно, что период сильнейшего землетрясения сопровождался циклоном, шедшим с юга.

Последующие исследователи лишь несколько уточнили версию Зюсса. Они установили, что сильные землетрясения не характерны для Персидского залива и волна цунами, сколь высока она ни была, не смогла затопить всю Месопотамскую низменность. Вероятнее всего, потоп,

описанный в халдейской легенде, представлял собой грандиозное наводнение в результате ливней и сильного, дующего навстречу течению рек ветра.

В расположенном восточнее Бенгальском заливе крупные наводнения, вызванные циклоном, происходили в 1737 и в 1876 гг. Первое из них подняло воду на 16 м, второе — на 13 м. Число погибших в каждом случае — более 100 тыс. человек. По-видимому, аналогичные явления с давних пор происходили и в устьях Тигра и Евфрата с той лишь разницей, что 4000—5000 лет назад наводнения захватывали гораздо дальше материк, чем теперь. В то время Персидский залив близко подходил к горам Ницир, и потому корабль, гонимый, согласно легенде, вверх по реке, мог в короткое время достигнуть гор.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Мы рассказали о некоторых наиболее значительных катастрофах в истории нашей планеты. Посмотрим же, насколько вероятны подобные явления в будущем. Безусловно, извержения вулканов, землетрясения и цунами будут происходить и дальше. Не можем мы исключить и случайные падения крупных метеоритов или даже астероидов.

Однако нет никаких сомнений в том, что с каждым десятилетием контроль человека за этими стихийными бедствиями станет эффективнее, и в недалеком времени опасные для жителей нашей планеты последствия катастроф можно будет почти полностью предотвратить.

ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Ни одно стихийное бедствие не происходит так неожиданно, как землетрясение. Своеобразной его особенностью является то, что оно разрушает в основном искусственные постройки, возведенные рукой человека. Конечно, во время сильных землетрясений происходят горные обвалы, оползни, иногда запруживаются реки, но такие явления относительно редки, ограничены небольшими по

площади зонами и обычно приурочены к крутым склонам гор, где нет человеческих жилищ.

Степень опасности землетрясения существенно менялась в зависимости от уровня и условий развития человеческого общества. Когда первобытный человек добывал себе пищу охотой, он не строил постоянных жилищ, поэтому землетрясения не были для него угрозой. Не страшны землетрясения и скотоводам: их переносные войлочные юрты выдерживали любую сейсмическую катастрофу.

Издавна на Земле существовала определенная зональность в распределении той опасности, которую таило для людей землетрясение. Эта зональность контролировалась в первую очередь климатической зональностью.

В тропическом поясе, где люди круглый год живут в бамбуковой или тростниковой хижине, землетрясения не страшны. Чумы и яранги жителей приполярных стран, построенные с помощью жердей и звериных шкур, не реагируют на подземные толчки. Несильно влияют подземные удары и на постройки умеренной лесной зоны планеты. Рубленые деревянные дома очень устойчивы и разрушаются (но не обваливаются) лишь при очень сильных землетрясениях.

Только один климатический пояс Земли — область пригодных для пахоты степей и оазисы орошаемого земледелия во всю меру ощущают ужас сейсмических катастроф. Земляные постройки и здания из кирпича, которые преобладают в этом поясе, больше всего подвержены сейсмическим ударам. Даже толчки средней силы разрушают стены каменных зданий, что приводит к гибели находящихся в доме людей. Только в течение последних 100—120 лет в связи с бурным ростом городов во всех климатических поясах произошли такие землетрясения, как Лиссабонское (1755), Сан-францисское (1906), Мессинское (1908), Токийское (1923), Ашхабадское (1948), подобных которым, за исключением территории Восточного Китая, в античное время и в средние века почти не было.

Случись Сан-францисское землетрясение на 100 лет раньше, оно почти не причинило бы разрушений. На месте этого города в 1806 г. располагались лишь деревянные строения небольшой русской колонии.

В ближайшем будущем рост старых городов и строительство новых будут идти еще интенсивнее. Значит ли

это, что пропорционально возрастет и опасность землетрясений? Отнюдь нет. Землетрясения будут все менее и менее страшны, ибо технические средства уже сейчас позволяют возводить жилые здания любой этажности и строить промышленные сооружения любых размеров, которым не угрожают сильнейшие землетрясения. Сейчас от землетрясения страдают главным образом давно построенные здания, возведенные без применения специальных антисейсмических поясов и других усиливающих прочностя конструкций.

Борьба с землетрясением началась давно. Человек столкнулся с двумя проблемами: как сделать здание таким, чтобы оно не разрушалось от подземных ударов, и как установить районы, где происходят землетрясения и где сильных подземных ударов не бывает. Попытка ответить на эти вопросы привела к возникновению сейсмологии — науки, изучающей землетрясения и поведение искусственных сооружений при подземных ударах. Инженеры-строители начали разрабатывать конструкции жилых зданий и промышленных сооружений, способных выдержать сейсмическую катастрофу. В горах Тянь-Шаня, на реке Нарын, построена Токтогульская высотная плотина и гидростанция на 1200 тыс. кВт. Гидротехнический узел возведен с таким расчетом, что выдержит даже катастрофические землетрясения.

Чтобы определить сейсмоопасные районы, необходимо точно знать место, где происходят землетрясения. Наиболее полные данные о подземном ударе можно получить, регистрируя приборами упругие волны, появляющиеся в земле при землетрясении. Сейсмологи научились определять координаты происшедшего землетрясения, глубину его очага, силу подземного удара. Это позволило составить карту эпицентров землетрясений, наметить зоны, где возникали подземные толчки той или иной силы. Сопоставляя эпицентры землетрясений с геологическим строением территории, геологи выделили те места, где землетрясений еще не было, но, судя по сходному строению с местами, подвергавшимися подземным ударам, возможны в недалеком будущем. Так родился прогноз места возникновения землетрясений и их максимальной силы. Наша страна — первая в мире, где карта сейсмического районирования, как ее официально называют, была впервые утверждена в качестве документа,

обязательного для всех проектирующих и строительных организаций. В сейсмически опасных районах строители должны возводить лишь такие жилые и административные здания и промышленные объекты, которые бы выдержали землетрясение показанной на карте силы. Разумеется, карты прогноза землетрясения не могут считаться совершенными. С течением времени по мере накопления данных они пересматриваются и уточняются. На рис. 30 представлен последний вариант такой карты, составленной в Институте физики Земли АН СССР.

Карта сейсмического районирования показывает, в каких местах нашей страны и какой максимальной силы возможны землетрясения. Для проектирующих организаций и строителей такая карта служит важным и необходимым документом, но для населения, живущего в сейсмоопасной зоне, куда важнее знать, когда именно произойдет землетрясение. Заметим, что в последние годы этот вопрос все больше и больше интересует и строителей. Кроме того, проектирующим организациям необходимо знать, происходят сильные землетрясения с периодичностью раз в тысячелетие или же в 20 лет. В первом случае усиливающие сооружения антисейсмические конструкции следует применять лишь при строительстве некоторых долговременных объектов (если это, конечно, не жилые помещения). Во втором — для всех построек.

Прогноз времени возникновения землетрясения подразделяется в настоящее время на долгосрочный и на выявление предвестников, за несколько часов или минут предупреждающих о надвигающейся катастрофе.

Долгосрочный прогноз основывается на следующих физических предпосылках. В упрощенной схеме процесс подготовки и проявления землетрясений можно себе представить как накопление и перераспределение в некоторой области земной коры потенциальной энергии — энергии упругих напряжений. В момент землетрясения эта энергия частично или полностью высвобождается. Для того чтобы произошло следующее землетрясение, нужна новая порция энергии; следовательно, должно пройти время, пока энергия накопится. В одних случаях это несколько дней или месяцев, но чаще десятки или даже сотни лет. Так, в Ашхабаде в 1948 г. была разрушена мечеть Аннау, простоявшая невредимой более 600 лет.

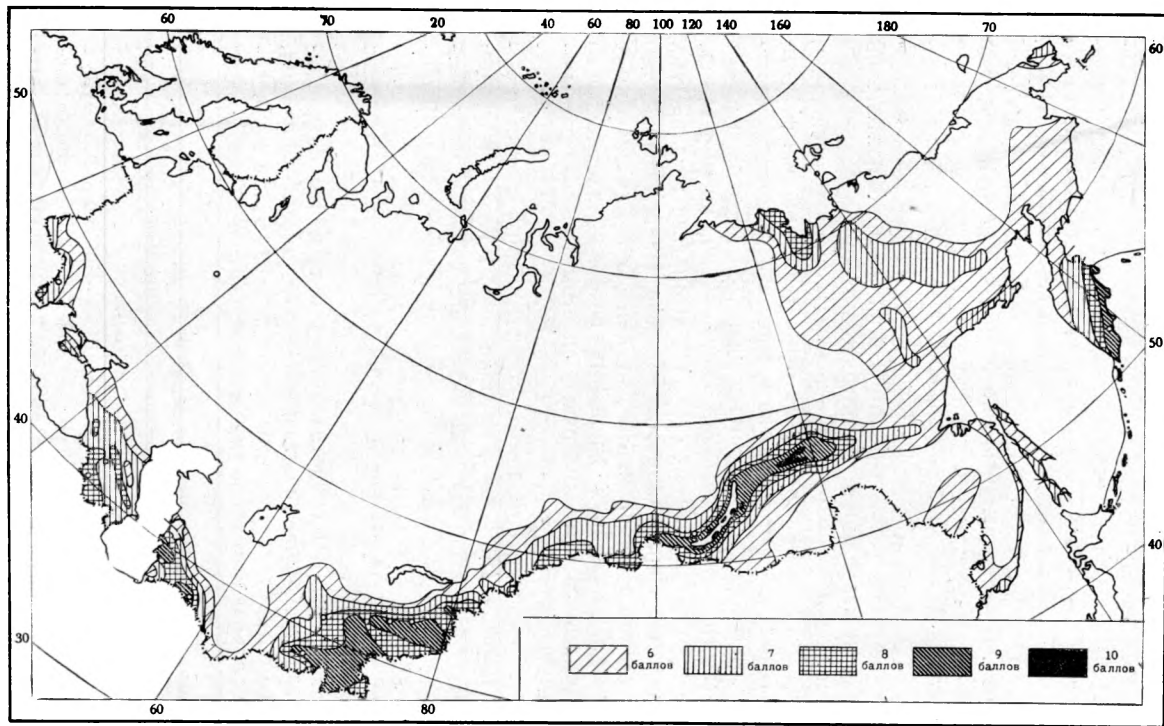


Рис. 30. Карта сейсмического районирования территории СССР

На основе детального изучения сейсмичности Курило-Камчатской зоны С. А. Федотов предложил приблизительный долгосрочный прогноз землетрясений по пятилетиям. В прогнозе содержатся вероятностные оценки проявления сильных землетрясений, выделены районы, где в настоящее время возможны катастрофические сотрясения. Позже такой же прогноз был разработан для Калифорнии (США). В частности, было показано, что разрушительные землетрясения с магнитудой 8 могут происходить раз в 100 лет, а более слабые — раз в 20 лет. Хотя такой прогноз не решает проблемы полностью, он помогает составлять карты сейсморайонирования с приблизительной оценкой повторяемости землетрясений.

Еще важнее обнаружить предвестников землетрясения, непосредственно извещающих о приближающейся сейсмической катастрофе. Давно замечено, что животные чувствуют приближение подземного удара. За несколько минут до землетрясения домашний скот, собаки, кошки, крысы проявляют беспокойство, стараясь выбраться из закрытых помещений. Перед землетрясением в Неаполе покинули свои жилища муравьи. За два дня до землетрясения в прибрежных районах Японских островов неоднократно появлялась необычная рыба шестиметровой длины — усатая треска, живущая на больших глубинах. По японской мифологии, виновницей землетрясений является огромная рыба «намадзу», которая якобы щекочет своими усами морское дно. Изображения ее издавна наклеивались на окна как заклятие от подземных толчков. Японские ученые считают, что это суеверие было порождено появлением у берега легендарной рыбы накануне крупных землетрясений.

Все эти факты свидетельствуют о том, что подземному толчку предшествуют какие-то физические явления. Но если их чувствуют животные, то они могут быть зафиксированы и приборами. Предполагается, что в области будущего очага землетрясения происходит изменение физических параметров среды. В результате деформируется земная поверхность, изменяются упругие, магнитные, электрические свойства пород и т. д. Успех эксперимента зависит прежде всего от того, насколько близко будут расположены приборы от эпицентра прогнозируемого землетрясения, поскольку величины, характеризующие возможные параметры, убывают пропорционально квадрату

расстояния от очага. Поэтому для решения задачи прогноза необходимо находить места, где землетрясения происходят достаточно часто.

Поиски предвестников землетрясения ведутся сейчас в нескольких направлениях. Пожалуй, одной из первых попыток «предсказать» землетрясение было изучение так называемых форшоков — слабых толчков, иногда предшествующих сильному подземному удару.

Частоты колебаний форшоков заметно выше, чем автешоков (толчков, следующих за сильным землетрясением). Длительность проявления этих высокочастотных толчков, возможно, как-то связана с силой готовящегося землетрясения и может помочь установить момент его возникновения. К сожалению, это происходит не всегда. Известно большое число землетрясений, когда сильный удар приходил совершенно неожиданно. Все же не исключено, что для отдельных типов землетрясений изучение характера мельчайших потрескиваний, фиксируемых только очень чувствительными приборами, может дать сведения о приближающейся катастрофе.

Следующий путь обнаружения предвестников землетрясений — исследование медленных движений земной коры — наклонов земной поверхности. Наклонометры различных систем, установленные более 25 лет назад на специальных бетонированных площадках или в штольнях, пробитых в скалах, фиксируют малейшие колебания поверхности Земли. Иногда перед подземным толчком были обнаружены «бури» наклонов. Как будто бы предвестник обнаружен! Однако в большинстве случаев наклонометры молчали. На показания данных приборов влияет множество факторов, в частности изменение атмосферного давления, длительно происходящее проседание фундамента и т. д. Говорить о прогнозе с помощью наклонометров как надежном способе преждевременно, но некоторые результаты все же обнадеживают. Обнаружено изменение наклонов в Токтогульской штольне перед двумя землетрясениями, возникшими вблизи аппаратуры. Одно — очень слабое (эпицентр 2 км) и второе — (эпицентр 5 км) силой до 6 баллов. В обоих случаях четко видно изменение характера наклонов за несколько часов до землетрясения.

В последнее время начал разрабатываться еще один метод прогноза землетрясений. Подземные удары представляют собой разрядку возникающих в земной коре на-

пряжений. Очевидно, перед землетрясением такие напряжения возрастают. Это выражается в изменении скорости распространения упругих волн, отношения скоростей распространения продольных и поперечных волн и отношения их амплитуд. Эксперименты, проведенные в Гармском районе Памира, позволили получить некоторые обнадеживающие результаты. Наблюдается следующая закономерность: чем сильнее землетрясение, тем дольше длится аномальное состояние.

Наконец, недавно наметилось еще одно перспективное направление — изучение изменений магнитного поля Земли. Постоянное магнитное поле нашей планеты состоит из двух частей. Основная часть поля обусловлена процессами в земном ядре, другая — вызывается горными породами, получившими намагниченность еще за время своего образования. Магнитное поле, создаваемое намагниченностью горных пород, изменяется с изменением тех напряжений, в которых находятся горные породы в земной коре.

Подготовка землетрясения, как мы уже отмечали, состоит в накапливании напряжений в каком-то участке земной коры, что неизбежно меняет магнитное поле на земной поверхности. Удалось обнаружить резкое изменение локального векового хода магнитного поля после землетрясения. Произведены опытные оценки величины изменения магнитного поля, которое должно произойти в момент землетрясения. Опыты с искусственными взрывами подтвердили правильность этих расчетов.

За последние годы обнаружены и изменения в магнитном поле незадолго до землетрясения. За 1 час. 6 мин. до начала разрушительного землетрясения, происшедшего на Аляске в марте 1964 г., было отмечено возмущение в магнитном поле Земли. Изменение градиента магнитного поля между двумя пунктами, вблизи которых произошел ряд землетрясений, наблюдалось в 1966 г. Эти исключительно интересные результаты нуждаются еще в проверке, которая подтвердила бы связь наблюдаемых явлений именно с землетрясениями.

Ведутся также поиски предвестников землетрясений путем исследования электропроводности горных пород в сейсмических районах. Замечено, что в некоторых местах землетрясения иногда сопровождаются грозowymi разрядами с молниями. Следовательно, сейсмическое напряже-

ние каким-то образом связано с электрическим полем. В Японии, например, существует древняя традиция предсказывать землетрясения по необычному появлению молний при ясном небе.

Наконец, судя по опыту Ташкентского землетрясения, важным индикатором предстоящего сильного толчка является изменение содержания радона в подземных водах. За некоторое время до толчка заметно увеличивается его концентрация. Недавно обнаружена связь между землетрясениями и извержениями гейзеров (периодических извержений горячей воды и пара в некоторых вулканических районах). Оказалось, что в Йеллоустонском национальном парке (США) за 2—4 года перед каждым землетрясением интервалы между извержениями гейзеров уменьшаются, а после подземного толчка снова увеличиваются.

Мы остановились довольно подробно на прогнозе землетрясений, так как это — наиболее неожиданное и сложное природное явление. Опасность других возможных катастроф (гигантских волн цунами, извержений вулканов или падения крупных астероидов) уже сейчас сравнительно невелика и с каждым 10-летием будет резко уменьшаться, поскольку об их приближении мы можем знать заранее. Но в последние годы выяснилось, что человеческая деятельность может вызвать подземный толчок. В США, в штате Колорадо, военное ведомство закачивало на глубину в 3 км воду, в которой были растворены устаревшие отравляющие вещества. Через шесть недель в этом районе произошло первое за 70 лет землетрясение, затем толчки стали повторяться. По-видимому, нагнетаемая под большим давлением вода способствовала сдвигу пород по старым разломам. Когда перестали закачивать воду, землетрясения постепенно прекратились. Этот факт послужил основанием для разработки оригинального метода предотвращения сильного землетрясения. Если обводнение трещин способствует землетрясению, то с помощью поочередной закачки воды в разные участки крупного разлома можно путем серии слабых спровоцированных толчков снять существующие в Земле напряжения и тем самым предупредить катастрофическое землетрясение.

На практике этот метод означает следующее: в избранном месте разлома бурят три скважины на расстоянии

примерно 500 м друг от друга. Из крайних скважин выкачиваются подземные воды, чтобы «запереть» сброс в этих двух точках. Затем под давлением закачивается вода в среднюю скважину: происходит «миниземлетрясение», и в глубинных породах снимается напряжение. Когда же выкачивается вода и из средней скважины, весь участок становится безопасным, по крайней мере на определенное время.

Такая обработка крупного разлома потребует бурения около 500 скважин по 5 км глубиной каждая.

Слабые землетрясения возникают и в районах, где незадолго перед этим были созданы крупные водохранилища. Дополнительный вес воды водохранилища оказывает давление на горные породы и тем самым создает условие для возникновения подземных толчков. Возможно, этому способствует также проникновение воды по трещинам на глубину, что облегчает смещение пород по разрывам.

СЛУЖБА ОПОВЕЩЕНИЯ О ЦУНАМИ

Успешные действия человека по предупреждению стихийных бедствий наиболее наглядны на примере организации в ряде стран Тихоокеанского бассейна, в том числе на Дальнем Востоке, службы срочного оповещения о приближающемся цунами.

Сейсмические волны от землетрясения распространяются в земле со скоростью около 30 тыс. км/ч, тогда как волна цунами идет со скоростью порядка 1000 км/ч. На использовании разницы этих скоростей и построена служба оповещения о волнах от подводного землетрясения. Специальные цунами-станции оборудованы сейсмографами с сигналами, срабатывающими при регистрации сильного землетрясения. После сигнала дежурные немедленно приступают к обработке полученных сейсмограмм и определяют положение эпицентра землетрясения. Если эпицентр находится в океане, а землетрясение было достаточной силы, то на побережье, опасном цунами, объявляется тревога. Специальная служба с помощью сирен, громкоговорителей и световой сигнализации предупреждает население о приближающейся волне. Жители укрываются на возвышенных местах, недоступных действию волн. Все решает скорость обработки сейсмограмм. Сведения на опасные участки побережья должны быть переданы хотя

бы за 5—10 мин. до подхода волны к берегу. В Японии и особенно на Камчатке и Курильских островах, которые расположены в непосредственной близости от зон возникновения подводных землетрясений, время между подземным толчком, вызвавшим цунами, и приходом волны на берег измеряется считанными минутами. За этот отрезок времени необходимо определить положение эпицентра землетрясения, время прихода волны в те или иные пункты побережья, передать по каналам связи тревогу и успеть вывести людей в безопасные места.

Служба оповещения о цунами в 50-х годах организована в США (на Гавайских островах), Японии и СССР.

Другой путь уменьшения катастрофических последствий цунами — это составление карт, которые в некоторой степени сходны с картами сейсмического районирования. В отношении цунами такое районирование проводится в пределах побережья. При построении карты цунами-опасности побережья принимаются во внимание максимальная высота происшедших ранее цунами; учитываются характер побережья, местоположение зон, где возникают землетрясения, вызывающие цунами, расстояние от них до берега и т. д. Подобные схемы являются важными документами при планировании и проектировании промышленного и гражданского строительства. Зная возможную максимальную высоту цунами и ту площадь побережья, которая может быть покрыта волнами, строители располагают строящиеся объекты за пределами досягаемости волн.

Нет никаких сомнений в том, что в самые ближайшие годы разрушительное действие цунами будет сведено почти к нулю.

ЗАЩИТА ОТ ВУЛКАНИЧЕСКИХ БЕДСТВИЙ

Наибольшую опасность при вулканических извержениях, по мнению Г. Тазиева, представляют игнимбритовые потоки. Излияние игнимбритов, зафиксированное на Аляске в 1912 г., распространилось на 30 км при ширине потока 5 км и 100-метровой толщине слоя. В результате образовалась знаменитая долина Десяти Тысяч Дымов.

Игнимбриты изливаются мгновенно, с молниеносной быстротой вырываясь из длинных трещин, внезапно открывающихся в земной коре под давлением магмы, до предела насыщенной газами. Они выплескиваются из

этих трещин со скоростью более 100 км/ч, достигая порой 300 км. Состав извергаемой из чрева Земли массы — это суспензия, в которой стекловатые фрагменты лавы и мелкие раскаленные обломки насыщены горячими вулканическими газами. Такая консистенция игнимбритов придает им текучесть, позволяет захватить все живое, несмотря на то что застывают они очень быстро. Колоссальные площади игнимбритовых покровов, накопившихся еще в третичном и четвертичном периодах, свидетельствуют о том, что такие катастрофы возможны и в будущем.

О приближении мощных вулканических извержений в некоторых случаях говорит необычное поведение животных. После катастрофического извержения Мон-Пеле 8 мая 1902 г. город был разрушен за считанные секунды. Погибло 30 тыс. человек, и был найден один-единственный труп кошки. Оказывается, еще с середины апреля животные почувствовали неладное. Перелетные птицы вместо того, чтобы, как обычно, сделать привал на озере вблизи города, устремились на юг Америки. На склоне Мон-Пеле обитало множество змей. Но уже во второй половине апреля они начали покидать обжитые места. За ними потянулись и другие пресмыкающиеся.

Разгадка поведения животных заключается, по-видимому, в том, что повышение температуры почвы, выделение газов, легкие сотрясения земли и другие тревожные явления, не улавливающиеся органами чувств человека, вызывают беспокойство более восприимчивых к ним животных.

Создание службы прогнозирования извержений потухших вулканов в настоящее время, пожалуй, дело более легкое, чем прогноз погоды. Вулканологические прогнозы основываются на фиксации изменений режима вулкана. Они осуществляются путем наблюдения за определенными физическими и химическими параметрами. Трудность заключается в истолковании наблюдаемых измерений.

За шесть месяцев до извержения Килауэа в декабре 1959 — январе 1960 г. сейсмографы уже сигнализировали о пробуждении вулкана. Благодаря сети наблюдательных станций на острове Гавайя научные сотрудники вулканологической обсерватории заранее определили глубину очагов — 50 км, что было неожиданно, так как нижняя граница земной коры там лежит всего на 15 км ниже уровня моря.

В последующие недели вулканологи отметили постепенное уменьшение глубины очагов и, замеряя скорость этого восхождения, установили, когда магма начнет выходить на поверхность. Тщательно изучая все явления, связанные, судя по опыту прежних исследований, с процессом восхождения магмы, вулканологи обсерватории зафиксировали, где именно (кратер Ики) и когда начнется извержение. В своих прогнозах они пошли еще дальше: после трехнедельного пароксизма они не только предсказали, что извержение еще не закончилось и возобновится с новой силой, но и указали на место повторного действия вулкана — близ селения Капоо. В результате удалось своевременно эвакуировать жителей этого селения.

Далеко не всегда можно точно истолковать показания сейсмографов и наклономеров, особенно в отношении чреватых опасными взрывами страто-вулканов, число которых весьма велико в обводе Тихоокеанского огненного кольца.

Одно из наиболее перспективных направлений по прогнозированию вулканических извержений — изучение эволюции химического состава газов. Установлено, что состав газов после извержения изменяется в следующем порядке: вначале выделяются HCl , HF , NH_3 , Cl , H_2O , CO , O_2 (галлоидная стадия), затем — H_2S , SO_2 , H_2O , CO , H_2 (сернистая стадия), дальше — CO_2 , H_2 , H_2O (углекислая стадия) и, наконец, едва нагретый пар. Если активность вулкана возрастает, то состав газов изменяется в обратном порядке. Следовательно, постоянное изучение вулканических газов позволит предсказать извержение. Л. В. Сурнина и Л. Г. Воронина исследовали состав газов вулкана Эбеко. В одном его участке (так называемое Северо-Восточное поле) содержание HCl в течение ряда лет изменялось следующим образом (в объемн. %): 1957 г. — 0,19; 1960 г. — 0,28; 1961 г. — 2,86; 1962 г. — 5,06. Таким образом, количество хлористого водорода постепенно увеличивалось, что свидетельствовало о возрастающей активности Эбеко, завершившейся извержением в 1963 г.

В ряде случаев возможна активная защита от вулканических извержений. Она заключается в бомбардировке авиацией или артиллерией движущихся лавовых потоков и стен кратеров, через которые изливается лава; в создании дамб и других препятствий на пути движения лавы;

в проведении туннелей к кратерам для спуска воды кратерных озер.

Дамбы и насыпи с успехом используются для борьбы с жидкими лавами Гавайских островов. Во время извержений 1956 и 1960 гг. каменные насыпи противостояли даже мощным лавовым потокам. Применение дамб и насыпей возможно и против некоторых грязевых потоков.

Для предотвращения грязевых потоков (лахар) необходимо спускать из кратеров избыточные воды. Для этого с наружного склона вулканического конуса в кратер проводят водоотводящий туннель. Таким способом был осушен Келун, с которым связано возникновение губительных лахар.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВСТРЕЧИ АСТЕРОИДА С ЗЕМЛЕЙ

В 1967 — в начале 1968 г. неоднократно обсуждался вопрос о возможности столкновения с Землей микропланеты Икар в момент их наибольшего сближения 15 июня 1968 г.

В октябре 1937 г. астероид Гермес прошел мимо Земли всего лишь в 800 тыс. км, т. е. на расстоянии немногим более 100 земных радиусов. Икар в поперечнике имеет размеры не более 1,5 км. Следовательно, вес его должен быть равен 3,5 млрд. т. Если бы Икар столкнулся с Землей, то удар был бы равен взрыву 10^5 Мт тринитротолуола. Разрушительный эффект был бы намного значительнее, чем, например, при извержении вулкана Кракатау, когда возникшие в море волны погубили 36 тыс. человек.

Астероиды могут быть и значительно больших размеров, а следовательно, последствия их столкновений с Землей еще страшнее.

Очень редкое, но страшное по катастрофическим последствиям столкновение Земли с астероидом в недалеком будущем будет безопасно для человека. Уже современный уровень астрономии и вычислительной техники позволяет заблаговременно (за несколько месяцев) не только знать время, но и точно определить место падения на Землю космического пришельца. Это даст возможность заранее принять необходимые меры, резко уменьшающие последствия катастрофы, (выселение людей из опасной зоны,

расчет высоты волн на побережье в случае падения астероида в воду и т. д.).

В принципе уже сейчас можно разрушить астероид с помощью ракет за некоторое время до того, как он достигнет нашей планеты.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СЕЛЕЙ

Возможности борьбы человека с коварными разрушительными силами природы можно продемонстрировать на примере «обуздания» селя в районе столицы Казахской ССР города Алма-Ата. Сель — это бешено мчащийся по долине горной реки поток, состоящий из грязи, щебня и валунов размером до метра и более. Образуется он вследствие бурного летнего таяния снега, когда талая вода постепенно впитывается ледниковыми валунно-галечными отложениями, а затем вся эта полужидкая масса лавиной низвергается по долине.

В 1921 г. чудовищный сель, свалившийся с гор ночью на спящий город, прошел Алма-Ату из конца в конец, фронтом в 200 м шириной. Не считая воды, грязи, обломков деревьев, одних лишь камней обрушилось на город столько, что, по подсчетам, их хватило бы для загрузки нескольких сот товарных поездов. И эти эшелоны, разогнавшись по склону, на курьерской скорости таранили Алма-Ату, разрушая и уничтожая дома, улицы. Объем селя определялся тогда в 1200 тыс. м³.

Опасность повторения такой катастрофы существовала постоянно. Город Алма-Ата рос. И с каждым годом бедствия от селя могли быть все более ужасными. Смелая мысль перекрыть путь селю искусственно созданной плотиной принадлежала академику М. А. Лаврентьеву. Он предложил воздвигнуть такую плотину с помощью направленного взрыва.

В конце 1966 г. направленные взрывы уложили 2,5 млн. т камня на дно урочища Медео. Возникла плотина, перекрывающая долину р. Алмаатинки. Селя пришлось ждать недолго. В июле 1973 г. гидрологические посты сообщили о возможности селя.

15 июля в 18 час. 45 мин. местного времени моренное озеро ледника Туюксу мгновенно вспучилось и сразу опало. Раздался характерный, похожий на хриплый вздох, звук, тут же переросший в зловеющий грохот. Предсказанный, но всегда неожиданный сель рванулся вниз.

Пока точно не установлено, сколько воды извергла первоначальная морена. По-видимому, не меньше 100 тыс. м³. Но через несколько минут в селе было уже не менее 1 млн. м³ воды и камней. Однако на этот раз путь селю преградила плотина. Вот что рассказывает очевидец, находившийся на плотине в момент катастрофы.

День был знойный и тихий. Вдруг издали донесся грохот, будто за снежной вершиной хребта реактивный самолет брал звуковой барьер. Грохот исчез так же неожиданно, как и возник. Через 10 сек. за покрытым елями склоном горы взвился вверх огромный рыжий столб пыли, закрывший небо. Из-за поворота стремительно выкатился огромный грязевой вал. Он с ходу ударился о твердь котлована, потом отпрыгнул к противоположному склону, обрушившись на него всей своей тяжестью. На плотину Медео обрушился удар такой силы, какой, если не считать атомных взрывов, никогда еще не наносился по творению рук человеческих. Камни забили водоотводные трубы, а вздувшаяся река добавляла в котлован по 10—12 м³ воды ежесекундно. Уровень озера начал быстро подниматься. Вода грозила перехлестнуть плотину. Трудно вообразить, что могло бы произойти, если бы сель вместе с плотиной рухнул почти с двухкилометровой высоты на Алма-Ату.

Вода в котловане все прибывала и прибывала, но люди не дремали: спешно монтировались 16 мощных насосов для ее откачки и три трубопровода для сброса воды в опустевшее после закупорки плотины русло Малой Алмаатинки. Наконец, заработал один дизель, за ним — другой. Вода устремилась в нитку трубопровода и через плотину, по ступенчатому склону горы — в русло Малой Алмаатинки. К утру вода в котловане стала постепенно убывать.

Впервые в истории Средней Азии крупнейшее стихийное бедствие было не только предсказано, но и встречено по точному плану, а затем нейтрализовано. Благодаря научному прогнозу, четкой организации работ, героизму людей одержана победа в первой такого рода схватке с грозной стихией.

Плотина выполнила свою роль, но ведь сель может повториться. Осенью 1973 г. были начаты работы по укреплению плотины. Она поднялась на 10 м, а в дальнейшем поднимется еще на 30; 3,5 млн. м³ твердого

грунта легли на тело «старой» плотины. В будущем намечается отвод более 100 моренных озер, расположенных на высоте 3000—3500 м над уровнем моря.

Можно ли управлять погодой?

Надежное управление погодой — задача невероятно сложная. Энергия процессов, которые нагревают и охлаждают колоссальные воздушные бассейны или замораживают гигантские массы воды, очень велика. Такой энергии человек пока ничего не может противопоставить. И все-таки человек уже в состоянии активно воздействовать на погоду. Мы можем вызвать дождь или снег, рассеять туман или прервать образование града. Изучаются также пути предотвращения гроз. Американские ученые разработали специальную программу, в которой предусматривается засеивать грозовые облака металлизированными нитями. По их мнению, это может подавить грозовую активность туч. Ученые Советского Союза с этой же целью провели первые эксперименты по применению грубодисперсных порошков, которые направлялись в облака.

Как только приближается крупная облачность, в дело вступают специальные оперативные локаторы. Дальнотбойные разведчики неба предсказывают опасность на расстоянии до 300 км. С их помощью определяют не только расстояние до цели, но и насколько облачность коварна, не несет ли с собой града.

По сигналу более чем двухметровая ракета «Облако», как бы не спеша, покидает гнездо установки и направляется навстречу грозе садов. В ее чреве специальный химический реагент — йодистый свинец. Встретив на подступах (за 8 км) на высоте до 6 км мощное облако, ракета проникает в него, а затем опускается на специальном парашюте, распыляя реагент. Проходят минуты, и кристаллические образования, которые могли бы превратиться в град, уже не опасны. Вместо грозного града на территорию, занятую садами, проливается дождь.

В Грузии разработан комбинированный метод борьбы с этим бедствием. Сначала в облако забрасывается поваренная соль, которая не позволяет каплям воды замерзнуть и превратиться в град. Но если этот процесс все же начался, то тучу обстреливают снарядами и ракетами, которые начинены специальными реагентами. Перспективным представляется способ тушения лесных пожаров с помощью искусственно вызванного дождя.

В опытном порядке ведутся работы по прогнозированию и контролю за снежными лавинами. Создана сеть сейсмических приборов, которые регистрируют незначительные колебания, вероятно, возникающие в снежной массе перед началом ее движения по склону. Ведутся измерения плотности снежного покрова, абляции (переход из твердого состояния в газообразное, минуя стадию таяния), объема выпадающих осадков, характера процесса отложения снега, температуры воздуха и скорости ветра.

В последние годы наметилась реальная возможность по крайней мере вдвое уменьшать силу урагана. Поскольку огромная энергия, требуемая для «поддержания» урагана, создается частично за счет испарения воды океана, возникла мысль уменьшить это испарение за счет тонкой пленки химических веществ.

Искусственная пленка на поверхности воды играет двойную роль. Во-первых, она уменьшает волнообразование и тем самым сокращает площадь поверхности, с которой испаряется жидкость. Во-вторых, эта пленка толщиной всего в несколько молекул служит физической преградой для испарения воды.

При испытаниях применялись различные химические вещества, которые распылялись отдельными полосами с кораблей и самолетов на участке площадью 2,6 км². Эти полосы, легко различимые с воздуха по уменьшенному блеску, фотографировались с самолета.

Через несколько часов после распыления отдельные полосы сливались и покрывали большую часть испытательного участка. В результате значительно уменьшалась величина волн, а их энергия снижалась на 46% по сравнению с энергией волн на чистой водной поверхности.

Разрабатываются и другие способы воздействия на тропические циклоны. Ученые полагают, что рассчитанные взрывы на пути мощных восходящих потоков воздуха могут если не погасить их, то сильно ослабить.

* * *

Выше мы говорили о том, что с развитием науки и техники опасность природных катастрофических явлений резко уменьшится. Значительно более серьезные последствия могут иметь относительно быстрые климатические и биологические изменения на земной поверхности, вы-

званные деятельностью человека. Физические процессы на Земле находятся в состоянии неустойчивого равновесия. В XVIII в. началась беспощадная вырубка древесины для промышленности и строительства. Площадь лесов на Земле сократилась с 7200 млн. до 3704 млн. га, а лесопосадки, которые применяются сравнительно недавно, пока покрыли всего 40 млн. га. Сейчас каждый человек в течение жизни «расходует» столько древесины, сколько дает роща из 300 деревьев. Постоянная вырубка леса может привести к необратимым последствиям в природе. Сведение лесов в Чилийских Андах привело к тому, что почти 3/4 сельскохозяйственных земель подвержены эрозии.

Интенсивная индустриализация может в будущем вызвать изменение теплового баланса нашей планеты. В настоящее время тепло, выделяемое промышленными предприятиями, еще невелико по сравнению с теплом, поступающим от Солнца, — 0,01%, но количество энергии, используемое человеком в некоторых городах и промышленно развитых районах, приближается к количеству солнечной энергии, падающей на те же площади. Если в будущем сохранится настоящий темп роста производства энергии (около 10% в год во всем мире), то недалеко время, когда вырабатываемое на Земле тепло может привести к заметным изменениям климата.

Некоторые аспекты изменений климата будут благоприятны для народного хозяйства, но другие могут создать различные трудности. Одним из последствий такого изменения термического режима может быть сначала отступление, а затем полное разрушение ледяного покрова в Северном Ледовитом океане.

Сильно изменяется промышленностью химический состав атмосферы. Ежегодно в атмосферу выбрасывается около 6 млрд. т углерода. В течение всего прошлого столетия в процессе индустриализации при сжигании топлива было введено в атмосферу более 400 млрд. т углерода. Концентрация углерода в воздухе, которым мы дышим, повысилась вследствие этого на 10%. Если сжечь все известные запасы нефти и угля, она увеличится в 10 раз. Некоторые специалисты считают, что избыток углерода в настоящее время превышает поглощение и может нарушить тепловой баланс Земли из-за явления, называемо-

го парниковым эффектом. Двуокись углерода пропускает солнечные лучи, но удерживает тепло у поверхности Земли. Высказывалось мнение, что увеличение углекислоты в атмосфере может сильно повысить температуру на земной поверхности. Однако американские ученые С. Расул и С. Шнайдер пришли к выводу, что по мере увеличения содержания двуокиси углерода рост температуры замедляется. Следовательно, катастрофического события не предвидится. Даже восьмикратное увеличение содержания углерода, что очень маловероятно в течение ближайших тысячелетий, повысило бы температуру земной поверхности меньше чем на 2°C.

Гораздо важнее эффект возрастающего содержания пыли в атмосфере. За последние 60 лет общее содержание взвешенных частиц в атмосфере могло удвоиться. Пыль понижает поверхностную температуру, так как она эффективнее задерживает солнечное излучение, чем земное. По мере того как количество пыли увеличивается, понижение температуры ускоряется: благодаря аэрозолю Земля становится лучшим отражателем солнечного света. В результате такого лавинообразного отрицательного тепличного эффекта возможны изменения климата в большом масштабе.

Есть предположение, что в течение ближайших 50 лет ожидается рост загрязнения в 6—8 раз. Если эта скорость засорения усилит существующую теперь непрозрачность атмосферной дымки в четыре раза, то земная температура понизится на 3°C. Столь значительное понижение средней температуры земной поверхности, если оно продлится несколько лет, окажется достаточным, чтобы начался ледниковый период.

По признанию Европейского регионального комитета Всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха уже стало экономическим, социальным и санитарным бичом Европы. В промышленных районах ФРГ на каждом квадратном километре территории оседает от 8 до 15 т пыли в сутки, а экономический ущерб от пыли в Великобритании исчисляется многими миллионами фунтов стерлингов в год: быстро ржавеет металл, распадается ткань, погибают растения. Национальная академия наук США установила, что примерно четверть всех заболеваний в крупных американских городах вызвана загрязнением атмосферы автотранспортом и промышленностью.

Во многих реках и озерах уменьшилось количество кислорода, вода потеряла прозрачность, погибли обитавшие здесь организмы.

Известные специалисты Харпер и Аллен подсчитали, что за последние 20 веков охотники и колонисты уничтожили 106 видов крупных зверей и 139 видов и подвидов птиц. За первые 1800 лет вымерло 33 вида. Затем истребление фауны пошло нарастающим темпом: за последующее столетие уничтожено еще 33 вида. В XIX в. было перебито 70 видов животных, а за последние 50 лет — еще 40 видов. Еще более неутешительны перспективы на ближайшее будущее: 600 видов животных находятся сейчас на грани полного уничтожения. По-видимому, они не доживут и до конца нашего века.

Вымирание почти тысячи видов в течение двух тысячелетий при длительности эволюционного развития организмов, измеряемой сотнями миллионов лет, представляет собой катастрофу более резкую и быструю, чем вымирание динозавров в конце мезозойской эры.

Еще 30 лет назад многим казалось, что просторы Мирового океана настолько велики, что загрязнить его невозможно. И вот оказывается, что в последнее 10-летие загрязнение морских вод отходами промышленности, в особенности нефтью и ее продуктами, приняло чудовищные размеры.

Нефть, разлитая в море, растекается на поверхности воды, образуя тонкую пленку, которая нарушает обмен воды с газами атмосферы и тем самым нарушает жизнь морского планктона, создающего кислород и первичную продукцию органического вещества в океане. Подсчитано, что ежегодно в результате различного рода аварий в океаническую воду сбрасывается 10 млн. т нефти. По данным федерального правительственного агентства США, занимающегося исследованиями атмосферы и океана, 665 тыс. квадратных миль водной поверхности континентального шельфа и Карибского бассейна загрязнены отходами американской промышленности. В заливе Эскамбия, близ Пенсаколы (штат Флорида), за один день погибло 15 млн. экземпляров сельди. Это уже не первый случай массовой гибели рыбы в прошедшие 10 лет в результате загрязнения моря промышленными отходами. Полагают, что причина гибели — недостаток кислорода в воде. Сельдь задохнулась, а амары, крабы и рыба, способ-

ные долго жить в сильно загрязненной воде, получили «ракообразные» опухоли и другие болезни.

Природу нужно беречь, защищать. На это направлены сейчас усилия во многих странах, и прежде всего в Советском Союзе. Вопросами охраны природы занимаются специально созданные постоянные комиссии Верховного Совета СССР. Наше государство вкладывает огромные средства в строительство очистных сооружений на химических и нефтеперерабатывающих заводах, в создание защитных полос, ведет борьбу с эрозией почв, осуществляет охрану недр, водных ресурсов и т. д.

Ученые многих стран объединяют усилия для всестороннего изучения Земли как планеты и отдельных ее составляющих — биосферы (географической оболочки), атмосферы, гидросферы и т. д. Большую роль в этом отношении призвана сыграть Международная биологическая программа. Цель ее — оценить биологические ресурсы земного шара, познать глубинные закономерности в развитии живого вещества в пределах всей биосферы, «спланировать» использование живой природы для будущих поколений. Работы по планам Международного гидрологического десятилетия обогатят человечество точными данными о количестве, составе и круговороте воды в глобальном масштабе.

Велика сила человека в борьбе со стихийными явлениями природы. Разум и техническая оснащенность позволяют уже сейчас предотвратить или значительно уменьшить многие естественные катастрофы. Но следует подчеркнуть, что наше воздействие на природу становится настолько ощутимым, что незаметные на первый взгляд явления способны вызвать необратимые процессы катастрофического характера.

Человек в состоянии предотвратить катастрофу, но может ее и вызвать. Отсюда ясно, что глубокое и всестороннее изучение природных явлений в их сложной взаимосвязи становится одним из основных научных направлений. Чтобы правильно управлять природой, ее нужно хорошо знать.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Образование и эволюция Земли	4
Метеоритные кратеры	15
Космос и жизнь	26
Климат и оледенения	44
Вулканические извержения	50
Землетрясения	89
Цунами	111
Тропические циклоны	119
Максимальная сила геологической катастрофы	125
Гибель Атлантиды	133
Был ли всемирный потоп?	145
Воздействие человека на природные процессы	153

Игорь Александрович Резанов
ВЕЛИКИЕ КАТАСТРОФЫ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ
Издание 2-е, переработанное, дополненное

Утверждено к печати редколлегией
серии научно-популярной литературы
АН СССР

Редактор издательства Л. И. Приходько
Художник Б. К. Захаров
Художественный редактор Ю. П. Трапиков
Технический редактор Д. М. Хенох
Корректоры Е. Н. Белоусова, К. П. Лосева
ИБ № 18454

Сдано в набор 12.11.79
Подписано к печати 28.02.80.
Т-03953. Формат 84×108^{1/8}/₃₂
Бумага тип. № 2
Гарнитура обыкновенная
Печать высокая
Усл. печ. л. 9,24. Уч.-изд л. 9,5
Дополнительный тираж 50 000 экз. Тип. зак. 2983
Цена 30 коп. -

Издательство «Наука» 117864 ГСП-7,
Москва, В-485, Профсоюзная ул. 90
2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер. 10



**ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГОТОВИТСЯ
К ПЕЧАТИ
КНИГА:**

КАРПОВ Г. А. В кальдере вулкана.— М.: Наука, 1980, 8 л. 30 к. 50 000 экз.

Книга посвящена одному из интереснейших и живописных мест Камчатки — кальдере вулкана Узон. Своеобразие этого района состоит в том, что он представляет собой уникальную природную лабораторию, где происходят процессы образования минералов, бурно проявляется современная гидротермальная деятельность в виде многочисленных термальных источников и теплых озер. Автор рассказывает также о геологическом строении кальдеры, случающихся здесь извержениях, богатом растительном и животном мире.

Заказы пресим направлять по адресу: **МОСКВА В-164, Мичуринский проспект 12, магазин «Книга — почтой» Центральной конторы «Академкнига»;**

ЛЕНИНГРАД П-110, Петрозаводская ул., 7, магазин «Книга — почтой» Северо-Западной конторы «Академкнига» или в ближайший магазин «Академкнига».

Адреса магазинов «Академкнига»:

480391 Аяма-Ата, ул. Фурманова, 91/97;
370005 Баку, ул. Джапаридзе, 13;
320005 Днепропетровск, проспект Гагарина, 24; 734001 Душанбе, проспект Ленина, 95; 375009 Ереван, ул. Туманяна, 31; 664033 Иркутск 33, ул. Лермонтова, 303; 252030 Киев, ул. Ленина, 42; 277012 Кишинев, ул. Пушкина, 31; 443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2; 192104 Ленинград Д-120, Литейный проспект, 57; 199164 Ленинград, Менделеевская линия, 1; 199004 Ленинград, 9 линия, 16; 103009 Москва, ул. Горького, 8; 117312 Москва, ул. Вавилова, 55/7; 630076 Новосибирск, Красный проспект, 51; 630090 Новосибирск, Академгородок, Морской проспект, 22; 700029 Ташкент, Л-29, ул. Ленина, 73; 700100 Ташкент, ул. Шота Руставели, 43; 634050 Томск, наб. реки Ушайки, 18; 450075 Уфа, Коммунистическая ул., 49; 450075 Уфа, проспект Октября, 129; 720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42; 310003 Харьков, Уфимский пер., 4/6.