



551.2

К 44

Г. В. ТИРРЕЛЬ

Профессор геологии Глазговского университета

В У Л К А Н Ы

Перевод с английского
Е. П. ЗАВАРИЦКОЙ



1934

ОНТИ НКТП СССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ГОРНО-ГЕОЛОГО-НЕФТЯНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Ленинград • Москва • Грозный • Новосибирск



8316

VOLCANOES

By

G. W. TYRRELL

Thornton Butterworth Ltd.
London 1931

Книга представляет собой краткий курс современной вулканологии, написанный вполне научно и вместе с тем доступно и для лиц, знакомых лишь с начатками геологии.

Автор на конкретных примерах выявляет сущность процессов вулканизма в тесном смысле слова и его причин.

До сих пор на русском языке ни в одном из курсов геологии отдел вулканизма не излагался в современном освещении, в особенности динамика вулканических явлений. Предлагаемая книга восполняет этот пробел.

Книга рассчитана на студентов вузов и геологов; может быть полезна и для широкого читателя — натуралиста, краеведа.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к русскому изданию	3
Глава I. Вступительная	5
Глава II. Продукты вулканизма	29
Глава III. Явления вулканического извержения	57
Глава IV. Щитовые вулканы Гавайи и Исландии	88
Глава V. Страто-вулканы Этна и Везувий	112
Глава VI. Угасающие вулканы Катмай и Лассен Пик	137
Глава VII. Корни вулканов и древние вулканы	162
Глава VIII. Распределение вулканов и происхождение изверженных горных пород	191

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Отсутствие на русском языке изложения современных представлений о вулканизме, далеко недостаточно освещаемом в соответственных главах учебников геологии, побудило Издательство выпустить перевод небольшой, но превосходной книжки проф. Тирреля «Вулканы».

После изложения сведений о продуктах вулканизма и об общих особенностях явлений вулканического извержения автор на типичных примерах вулканов Гавайских островов, Исландии, Италии, Аляски и Калифорнии дает картину эволюции вулканизма в конкретных образах динамики вулканов. В заключительных главах рассматриваются теоретические представления о причинах вулканизма.

Из области фактов и от ярких картин вулканических явлений, наблюдавшихся человеком в последнее время на земле, автор здесь должен перейти в область гипотез к широким проблемам связи вулканизма с газообразованием и с общим ходом развития нашей планеты. Он мастерски немногими штрихами дает цельный очерк динамики земного

шара, с которой связаны вулканические явления.

Книга заполняет пробел, который заметно ощущается в наших учебниках геологии для вузов, но вместе с тем она написана настолько популярно, что может найти широкое распространение и среди читателей не специалистов в геологии.

Редактор

Глава I

ВСТУПИТЕЛЬНАЯ

Вулканы, наряду с сильными бурями и землетрясениями, принадлежат к таким явлениям, которые, несмотря на все возрастающее господство человека над природой, приводят в смятение, ужасают и подавляют человеческий ум. Они всегда возбуждали страх и суеверия, а также были предметом удивления и почитания. Вулкан, вероятно самый красивый в мире, Фудзи-сан, священная гора Японии, является с давних пор предметом религиозного поклонения в этой стране. Классическая литература средиземноморской области полна указаний на грандиозность и величие проявлений деятельности вулканов, вздымающихся среди древних центров цивилизации, и на ужас, внушаемый их разрушительными действиями. Мифы, легенды и история неразрывно переплетаются в рассказах об их разнообразной деятельности.

Название *вулкан* происходит от острова Вулкано, расположенного в Тирренском море к северу от мыса Калава, самой северной точки Сицилии, который в классические времена считался входом в ад и владением Вулкана, бога кузнечного дела. В средние века христиане считали, что

средиземноморские вулканы служат местом вечного наказания некоторых великих грешников.

2 Классические средиземноморские вулканы находятся в трех главных районах: 1) окрестности Неаполя, где находятся Везувий и Флегрейские поля; 2) Сицилия и прилегающие острова, где находятся Вулкано, Стромболи и Этна, и 3) греческий архипелаг, заключающий знаменитое кратерное кольцо Санторино, где последнее извержение имело место в 1925 г.

Хотя в классической литературе есть много указаний относительно вулканов и вулканической деятельности и у таких авторов как Гераклит, Платон, Аристотель и Страбон имеется много остроумных догадок о причинах извержения, первое полное и действительно научное описание извержения было сделано Плинием Младшим за 79 лет до нашей эры. В письмах к римскому историку Тациту, описывая смерть своего дяди Плиния Старшего, он дал полное описание первого крупного исторического извержения Везувия в этот роковой год, — извержения, которое погребло Геркуланум и Помпею, хотя довольно любопытно, что Плиний не указывает на разрушение этих городов. Плиний Старший был командиром римского флота в Неаполитанском заливе и был крупным писателем по естественной истории. Он был одной из первых жертв науки и погиб от удушения во время попытки посмотреть ближе извержение и в то же время помочь охваченным ужасом поселянам на склонах вулкана. Мастерское описание Плиния полно точных наблюдений и является самым первым вкладом в вулканологию.

В результате падения научной любознательности в средние века изучение вулканов естественно пришло в упадок. С возрождением, однако, появился новый интерес к природе, но ближайший значительный вклад в вулканологию не появлялся до 1774 г. В этом году Вильям Гамильтон, английский посол при Неаполитанском дворе, опубликовал свою замечательную работу, озаглавленную «Observations on Mount Vesuvius, Mount Etna and other Volcanoes», которая представляет еще до сих пор ценный источник фактов из первых рук.

Период между 1790 и 1820 гг. может быть назван героической эпохой вулканологической науки. Много знаменитых натуралистов и геологов собирали факты и опубликовывали теории относительно вулканической деятельности во всех частях света. Хотя некоторые из этих теорий не выдержали столкновения с громадным потоком новых наблюдений, которому дали повод современные исследования, и представляют теперь только исторический интерес, они тем не менее являлись большим стимулом для работников на этом многообещающем поприще. С основания вулканологических обсерваторий на Везувии и Этне, на Гавайских островах и на Яве в последние три десятилетия изучение вулканов вступило в новую фазу. Составляются ежедневные отчеты о вулканической деятельности и проводится самое тщательное изучение извержений. Кроме того такие организации, как Лондонское королевское общество, Нью-Йоркское национальное географическое общество и Вашингтонский геофизический институт, финансируют экспедиции, посылаемые во многие части света для изучения отдель-

ных вулканов и крупных извержений. Громадное количество новых и значительных данных, собранных таким образом, обещают произвести переворот в теоретической части науки.

Изучение вулканов имеет большой как научный, так и народно-хозяйственный интерес; вулканы много говорят нам относительно природы горных пород, которые лежат непосредственно под внешней твердой корой земли, так как вулканы имеют сравнительно неглубокое происхождение. Их лавы учат нас кое-чему о процессах, при которых расплавленный материал превращался в твердую горную породу. Изучение древних вулканов, корни которых появились наружу вследствие эрозии земной поверхности, освещает нам процессы; при которых расплавленная порода была инъецирована в земную кору или извергнута на поверхность. Изучение географического распределения вулканов и их связи с движением земли, с такими геологическими событиями, как поднятие гор, с образованием материков и морей, помогает осветить причины, лежащие в основе вулканизма.

Изучение вулканов имеет еще и практическое приложение. Более подробное знание вулканических сил и явлений, последовательности вулканических событий когда-нибудь откроет нам скрытый ритм в их деятельности и таким образом поможет сохранять жизнь и имущество, предупреждая об угрожающих извержениях. Следует упомянуть, что многие действующие и разрушительные вулканы возвышаются около больших городов или среди населенных местностей. Так, Везувий расположен близ Неаполя; Сакура-Шима в Япо-

нии (последнее большое извержение в 1914 г.) находится около торгового порта Кагашима; в 1902 г. город Сен-Пьер, главный город о-ва Мартиники в Вест-Индии, был уничтожен вместе с 30 000 жителей в несколько минут раскаленным облаком из вулкана Мон-Пеле. Вулканы Явы и других населенных островов Ост-Индии всегда были опасны и губительны как для самого человека и его имущества, так и для государства в целом. Поэтому предсказание вулканических событий представляет интерес с точки зрения и общественной и народно-хозяйственной.

Продукты вулканов часто использовались как объекты промышленности. Так например, кратер Вулкано дает серу, нашатырь и борную кислоту; пемза добывается на Липари, и борная кислота получается в Тоскане из струй пара, которые представляют отголоски недавней вулканической деятельности.

Положено также начало использованию громадной энергии, которая уходит в пространство при вулканических проявлениях. Недавний подсчет дает представление о громадном количестве энергии, которое доставляется типичным вулканическим извержением. К. дю-Риш-Преллера указывает, что количество энергии, развившейся во время последнего извержения Этны (в ноябре 1928 г., гораздо более слабого, чем большинство исторических извержений этого вулкана), было бы достаточно, если бы оно могло быть использовано, для снабжения всей Италии электрической энергией на три года при существующей норме потребления.

Наиболее доступный метод использования вулканической энергии на службу человека — это утилизация струй пара и горячих источников. В Исландии горячие источники используются хозяйками для изготовления пищи и стирки. В этой стране был даже разработан проект о снабжении Рейкьявика и других городов горячей водой из кипящих источников. В Тоскане естественная сила пара используется уже в продолжение трех четвертей столетия. На пространстве 260 км² здесь находятся многочисленные горячие источники и струи пара, которые доставляют борную кислоту. Эти природные источники и фумаролы были значительно расширены и изменены при развитии промышленного их использования. Были пробурены неглубокие скважины для того, чтобы добыть пар, который в одной из буровых скважин получался в количестве почти 24 000 кг в час при давлении одной атмосферы, или 12 900 кг пара в час при давлении пяти атмосфер. Пар часто перегрет так, что его температура колеблется между 100 и 190° С. Глубокая буровая скважина добыла в 1928 г. пар при давлении около 5 атмосфер, который может быть прямо использован, чтобы приводить в движение турбины. Подсчеты, основанные на валовой добыче борной кислоты по отношению к пару, указывают, что на этих участках можно получать ежедневно несколько миллионов килограммов пара.

Отчасти похожим по природе является участок с источниками пара в районе гейзеров в Калифорнии, которые теперь также начинают эксплуатировать. Наблюдения и опыты показывают, что

в этой местности находится большой запас горячего пара, который увеличивается с глубиной. Первая скважина была пробурена в сентябре 1922 г., и пар из этой скважины доставил силу для бурения второй скважины, которая была завершена в июле 1923 г. Из этих указаний видно, что пар и в Тоскане и в Калифорнии — глубинного происхождения, и что количество его фактически неисчерпаемо.

Хотя в настоящее время горячие источники и струи пара являются единственными вулканическими проявлениями, легко доступными контролю человека, может быть инженеры будущего придумают средство извлечения энергии непосредственно из вулканов, а также из внутренних областей земли. Такие проекты уже излагались на страницах технических журналов.

Хотя много раз указывалось на старую ошибку, что вулканы представляют горящие горы, она встречается время от времени в газетах и в популярной литературе. В вулкане ничто не горит наподобие горения угля, за исключением случайного небольшого количества воспламеняющегося газа. [Предполагаемый дым представляет или конденсированный пар, или пары и другие газы, несущие мелкую пыль во взвешенном состоянии; предполагаемый огонь есть не более, чем отражение расплавленной массы лавы в облаках над ней. И гора не является существенной чертой вулкана; она представляет только случайную кучу материала, который был выброшен из вулканической воронки. Если лава очень жидкая (как на Скаптариокул в Исландии в 1783 г.), или если деятель-

ность проявляется только в виде взрывов, доставляющих материал настолько тонкий, что он далеко и широко рассеивается над окружающей местностью, то никакой горы не образуется.

Что же представляет вулкан? Пожалуй можно попытаться теперь дать такое определение. Вулкан представляет отверстие в твердой земной коре, сообщаемое с раскаленной внутренней частью, через которое горячие газы, расплавленный материал горных пород (лава) и обломочные продукты поднимаются вверх до поверхности земной коры. Эруптивная деятельность может происходить спокойно или с сильными взрывами; непрерывно или спазмами. Она может дать или не дать начала горе вокруг жерла. + c

Два главных материала, извергаемые из вулканов — газы и лава, образуются из *магмы*. Это название взято с греческого и значит горячий, густой, клейкий материал, подобный каше. Таким образом это название является очень подходящим для расплавленного вещества, из которого получают газ и лава вулканов. Магма — вязка, часто густа, с отдельными кристаллами, подобно крупинкам в каше; она может вскипать газом, подобно каше, которая уходит через края горшка с паром. Вещество, которое во время извержения выливается на поверхность и уже потеряло много содержащегося в нем газа, называется *лавой*. Если, однако, магма инъецируется в слой у корней вулкана, она может сохранить большое количество своих газов, и этот факт имеет важное значение как для степени кристаллизации получающейся породы, так и в других отношениях. Когда магма приближа-

ется к поверхности, газ освобождается из нее во все возрастающем количестве, и его освобождение может в конце концов происходить с силой взрыва. Расплавленную породу можно сравнить со шлаком металлургических печей; действительно она имеет несколько похожий состав. Главным образом она состоит из различных силикатов, т. е. соединений кремнезема с глиноземом, с щелочами, натром и кали, с известью, железом и магнезией. Может присутствовать также некоторое количество свободного кремнезема и окислов железа, наряду с большим числом сравнительно редких второстепенных составных частей. Все они являются тугоплавкими веществами, с относительно высокой вязкостью в расплавленном состоянии и затвердевают при сравнительно высоких температурах. Профессор Шенд удачно назвал их *устойчивыми* (fixed) составными частями магмы, в противоположность *преходящим* (fugitive) или летучим газовым составным частям.

Главной газовой составной частью магмы является водяной пар или его диссоциированные компоненты — кислород и водород, которые превращаются в пар при определенных температурах и давлениях. Иногда находятся инертные газы — азот и аргон, но предполагается, что они обязаны своим происхождением примеси воздуха. Газовые соединения серы и углерода являются более важными. Эти газы содержат в себе двуокись серы (газ, получающийся при сгорании серы), сероводород (газ, получающийся при гниении яиц), болотный газ (соединение углерода с водородом) и двуокись углерода (продукт дыхания). Хлор со-

единяется с водородом, образуя газообразную хлористо-водородную кислоту, выделяющуюся иногда из вулканов, а также хлористый аммоний, образующийся путем соединения азота, водорода и хлора. Иногда выделяется в некотором количестве борная кислота. Дальнейшее рассмотрение магматических и вулканических газов мы встретим в главе II.

По своим физико-химическим свойствам газовые составные части магмы представляют наиболее резкий контраст по сравнению с устойчивыми составными частями. Они тонкие, флюидные, очень подвижные и очень чувствительные к изменению давления. При высоких температурах и давлениях они свободно смешиваются и растворяются в устойчивых частях, но при низких давлениях, когда магма проходит вулканическую воронку и находится около поверхности, они стремятся выделиться. Таким образом часто случается, что во время вулканической деятельности газы могут выделяться с силой взрыва, но без прямой связи с извержением лавы. Постепенная кристаллизация магмы в глубоко залегающем бассейне может также освобождать газы, которые тогда накапливаются под большим давлением, приводящим к взрыву (см. стр. 161).

Взрывчатое освобождение газов внутри вулканической трубки или внутри жидкой магмы, наполняющей вулканическую воронку, является причиной образования больших или маленьких обломков, состоящих из затвердевших масс лавы, которые выбрасываются в воздух, и обломков старых лав или посторонних горных пород, ко-

торые оторваны силой взрыва от боков канала. Это — вещество, которое часто называют *пеплом* или *золой*, тем самым опять напоминая о ложном представлении о горении. Лапилли, туф, шлаки разного вида и другие термины объяснены в главе II; они встречают меньше возражений. Накопление рыхлых материалов вместе с затвердевшими лавами способствует образованию вулканической горы и часто почти целиком образует весь конус.

Относительное количество трех родов веществ, изверженных из вулканических выходов, — горячие газы, расплавленная лава и обломочное вещество, — определяет род вулканической деятельности данного центра, присутствие или отсутствие накопления выбросов (вулканического конуса или горы), а также очертание горы, которая может образоваться. Единственные факторы, которые надо дополнительно принимать во внимание, — это степень постоянства вулканических проявлений: непрерывны ли они, или происходят спазмами, степень их силы и абсолютное количество изверженного материала, которое определяет размер вулкана.

Из фактов, которые рассмотрены ниже (глава VIII), мы узнаем, что большинство современных вулканов встречается вдоль линий, часто изогнутых и часто совпадающих с геологическими сбросами или с большими разломами. Не требуется большого воображения, чтобы представить первоначальное поднятие магмы из ее глубоко залегающих источников по трещинам в земной коре. Существование *дайк* — длинных вертикальных трещин, выполненных затвердевшей магмой, под-

тверждает этот взгляд (см. стр. 180). Наиболее глубокие известные разрезы вулканических центров представляют алмазоносные трубки Кимберлея. Они встречаются в очень древней части земного шара, где породы смывались на протяжении многих геологических периодов, и теперь здесь обнаружены глубокие горизонты земной коры. Горные выработки выясняют их строение еще глубже, и оказывается, что хотя трубки обыкновенно сначала цилиндрические, с глубиной они часто делаются вытянутыми, похожими на трещины и тесно связаны с дайками.

Хотя лава несомненно поднимается по глубоким трещинам или разломам в земной коре, она, тем не менее, не часто выливается на поверхность из трещин. Обыкновенно извержение локализуется в каком-нибудь пункте или в ряде пунктов, которые располагаются вдоль определенной линии, указывая на трещину, находящуюся в глубине. Таким образом наше первое различие в отношении рода вулканов — это различие *линейного* или *трещинного* типа от того, который может быть назван *центральной*. В линейном типе излияние лавы достигает поверхности, и она распределяется вдоль ясно выраженной трещины в земной коре. Не имеет большого значения, выливается ли лава прямо из всех частей трещины сразу, или ее выход локализуется в тесно расположенных пунктах, образуя длинный ряд небольших вулканических конусов. Оба вида этих линейных извержений известны, но они играют только подчиненную роль в современной вулканической деятельности.

Мы увидим дальше (глава VIII), что если вул-

4028-8316
канические проявления рассматривать в связи с геологическим возрастом, то они распадаются на определенные циклы. Эти циклы повидимому начинаются с обширных излияний базальтовой лавы, с которыми обыкновенно связаны системы дайк (стр. 169), и в сравнении с общим количеством изверженной лавы они сопровождаются незначительными размерами взрывной деятельности, приводящей к образованию обломочных продуктов. Эти огромные лавовые излияния поэтому считают вылившимися из трещин и прямо поднявшимися из перегретого жидкого слоя, который временами образовывался непосредственно под земной корой.

По мере того как цикл прогрессирует, вулканическая деятельность локализуется в определенных пунктах, которые развиваются в центральные вулканы. Лава спокойно выливается в большом количестве, и центральные вулканы в этой ранней стадии создают огромные плоские купола (щиты), состоящие главным образом из базальта. В настоящее время эти щитовые вулканы находятся в Гавайе и Самоа, а также в Исландии. В самых ранних стадиях современного вулканического цикла потоки из соседних щитовых вулканов соприкасаются, образуя большие пространства лавы, уступающие только по размерам излияниям из трещин. С затуханием вулканического цикла непосредственное поднятие магмы из глубины прекращается. Магма собирается в подземных очагах, и руководящая роль в вулканической деятельности такого центра принадлежит теперь содержащимся в ней газам. Таким образом вулканами, типичными для этой стадии цикла, являются те, в ко-

торых взрывы играют большую роль. В результате этого центральные вулканы являются естественно меньшими, чем щитовые, так как источник их магмы ограниченнее. Конуса этих вулканов смешанного состава, частично из лавы, частично из обломочных продуктов вулканического взрыва, и они известны под названием *страто-вулканов*, благодаря их структуре с ясным напластованием или слоистостью. Везувий, Этна и Фудзисан являются известными примерами стратовулканов. По мере затвердевания (кристаллизации) магмы в магматическом очаге количество лавы, доставляемое вулканом, постепенно уменьшается, и ее состав может меняться по мере того, как деятельность газов соответственно увеличивается, в результате чего увеличивается и количество извергнутого обломочного материала. Достигается в конце концов чистая стадия взрывов, и если на этой стадии пробивается новый выход, получающийся вулканический конус будет образован целиком из обломочного материала. Некоторые маленькие вулканические конуса такого характера (например Монте Нуово вблизи Неаполя) произошли при одном извержении в виде взрыва. Газы, которые освобождаются в эту позднюю стадию вулканического цикла, состоят главным образом из пара, и взрывы могут быть такой силы, что могут частично разрушить конус, созданный в более ранние стадии (Катмаи, Аляска; Бандай-сан, Япония).

По мере того как деятельность взрывов замирает, приближается конечная стадия вулканического цикла с сравнительно спокойным выделением

пара и других газов из струй или фумарол (Тоскана, Исландия, Калифорния, Новая Зеландия), связанных с извергающимися источниками или гейзерами, кипящими или горячими источниками и с выделением углекислоты и сероводорода из трещин.

В этом кратком очерке родов вулканической деятельности, исходящем из понятия о вулканическом цикле, в котором вначале имеет место главным образом излияние лавы, а к концу — выделение газа, мы вовсе не намереваемся внушить представление, что не было взрывной деятельности в первой стадии цикла и случайных излияний лавы в последней стадии. В действительности вулканические явления и продукты, связанные с выделением газов взрывами, могут встречаться на любой стадии вулканического цикла. Однако надо подчеркнуть, что если вулканический цикл рассматривать широко и как одно целое, то излияние лавы является главнейшей формой деятельности на первых стадиях и выделение газов взрывами — на его последних стадиях.

Мы говорим о вулканических конусах, указывая таким образом на обычные очертания гор, получившихся от накопления вулканического материала, но хотя конусообразные горы, особенно такие, у которых на вершине имеется чашеобразное углубление, являются часто вулканами, они однако не всегда вулканического происхождения. Горы, состоящие из одинакового типа пород (например кварцита), такие как Эрригал в Донегале (Ирландия) и Шичелион в Пертшире (Шотландия), часто обладают также почти со-

вершенной конической формой. Очертания вулканических гор зависят главным образом от относительной роли, которую играют в их образовании взрывы, доставляющие обломочный материал и излияния лавы, и от рода изливающейся лавы. Взрывы последних стадий цикла вулканической деятельности могут значительно изменить очертание вулканического конуса.

Когда нагромождается рыхлый материал, например песок пустыни или отвалы рудника, то угол естественного откоса, т. е. угол, образованный с горизонталью, при котором материал будет устойчив или находится в равновесии, зависит главным образом от размеров обломков. Грубые обломки, вроде тех, которые бывают в отвалах из горных выработок, будут устойчивы при более крутом угле, чем тонкий материал, как песок. Этот принцип отчасти контролирует очертания вулканических гор, которые являются, как мы видели, накоплением жидкого и твердого материала, извергнутого из отверстия или из трещины в земной коре.

Хорошая имитация вулканического конуса может быть воспроизведена искусственно: струя песка направляется вверх через отверстие в горизонтальной доске посредством струи воздуха. Если песок состоял из частей одинакового размера и если не было заметного движения воздуха над доской, то куча примет очертание конуса с прямыми боками, правильным круглым основанием и широким обратным конусообразным понижением на вершине. Если последовательно брать песок различных цветов, то конус будет полосатым, как

это показано на рис. 1А. Если однако взять песок, состоящий из частиц разного размера, то конус накопления будет иметь искривленные склоны (рис. 1В), потому что более крупные частицы будут падать вблизи выхода и будут достигать более крутого угла естественного откоса,

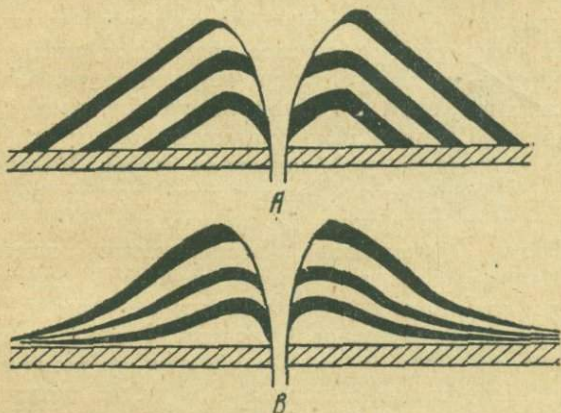


Рис. 1. Имитация вулканических конусов.

чем тонкие частицы, которые выбрасываются на большее расстояние от выхода. По подобным причинам кратер на вершине будет уже и будет иметь более крутые откосы. Тонкий вулканический пепел устойчив под углом от 30 до 35° , тогда как грубый шлак и шлаковые массы могут достигать угла от 40 до 45° .

Очертания конуса зависят также от связи обломков. Увлажненный песок (не очень сырой) бу-

дет стоять при более крутом угле, чем сухой; подобно этому выброшенные из вулкана обломки, которые еще так горячи, что они являются вязкими во время падения, будут слепляться и будут устойчивы при более крутом угле, чем совершенно затвердевшие обломки.

Если в упомянутом выше опыте подуть сильной ровной струей воздуха поперек доски, то куча песка потеряет свое круглое поперечное сечение и удлинится по направлению струи воздуха. Соответственно с этим мы находим, что некоторые вулканические конусы ясно указывают своим очертанием на влияние преобладающих ветров. Удлиненность вулканического выхода или трубки может привести к подобному же результату.

Форма большинства вулканических конусов приближается к почти геометрической правильности; они образуют самые красивые горы на поверхности земного шара. О красоте Фудзи-сана уже говорилось. Майон на Филиппинах является еще более совершенным конусом, а такие потухшие вулканические горы, как Гуд, Рейнер и Шаста в США, еще сохраняют свое первоначальное коническое очертание и красоту.

Беккер обратил внимание, однако, на то, что вероятно немногие конусы целиком сложены из рыхлого изверженного материала. Через неправильные промежутки времени выливается жидкая лава, и так как она локализуется в сравнительно узких потоках, а не целиком обливает конус, то она стремится значительно изменить его очертание. Кроме того временами лава почти совершенно покрывает гору твердой оболочкой, и влияние обло-

мочного характера ее состава на очертания конуса соответственно уменьшается. Беккер также напоминает, что многие материалы вулканических выбросов имеют свойство схватываться подобно цементу в связный материал (туф). Обильные дожди, которые сопровождают вулканическое извержение, способствуют таким образом уменьшению влияния обломочного материала на форму горы. Беккер считал, что действительная гладкость внешней формы многих вулканических гор обязана покрову пепла, который заполняет неровности лавовых потоков и выравнивает поверхность до характерного правильного склона и конического очертания. Если цементация наступает не скоро, вулканические конусы, состоящие из рыхлого обломочного материала, очень быстро размываются, в особенности если они подвергаются тропическим проливным дождям. Покров рыхлых выбросов на остатках конуса Везувия после большого извержения в апреле 1906 г. был глубоко промыт эрозией меньше чем в один год. Фудзи-сан не извергался с 1707 г., и Беккер указывал, что так как он противостоял эрозии в течение двух столетий и сохранил свою совершенную коническую форму, его материал должен был оказывать значительное сопротивление агентам выветривания и должен был быть хорошо сцементирован после последнего извержения. Профили различных вулканических конусов по сравнению с теоретическим профилем, вычисленным на основаниях, сформулированных Беккером, показаны на рис. 2.

Когда вулканические горы образованы почти исключительно из потоков лавы, их очертания

зависят главным образом от вязкости (или текучести) и следовательно от состава лавы. В Гавайе и в Исландии, где базальтовая очень текучая (жидкая) лава была извержена в огромном количестве, потоки распространялись на большие расстояния от вулканических центров и образовывали очень крупные, но плоские конусы или нагромождения, у которых угол склона редко превосходит 8° . Так, два больших вулкана Гавайи — Мауна

Лоа и Мауна Кеа — имеют поперечники, превосходящие 110 км, а высоту около 4 300 м над уровнем моря. С другой стороны, некоторые лавы очень вязки и не могут течь далеко от выхода. Они часто нагромождаются вокруг отверстия в ви-

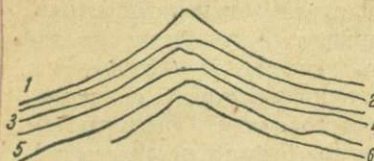


Рис. 2. Профили вулканов.

1 — теоретический профиль; 2 — Фудзияма; 3 — Майон, Филиппины; 4 — г. Шаста; 5 — г. Худ; 6 — Попокатепетл.

де выступающих куполов с крутыми склонами, и с течением времени, когда они будут разрезаны агентами эрозии, отчетливо вырисовывается их концентрическая структура. Рейер продавливал гипсовое тесто через дыру в доске. Оно накоплялось как округлый выступ над дырой, и когда он был разрезан поперек, то цветные полосы теста имели концентрическое расположение, как изображено на рис. 3а.

Примеры такого рода вулканических гор встречаются в пюи Оверни (рис. 3б), потухшей вулканической области центральной Франции, в древ-

них вулканических полях Средне-богемских гор (рис. 3с) в Венгрии и в мамелонах острова Бурбона в Индийском океане (рис. 3d).

Уклонения от типичных очертаний конуса вулканических гор происходят многими путями. Огромными взрывами иногда сносятся верхние части конусов, как на Бандай-сане (Япония)

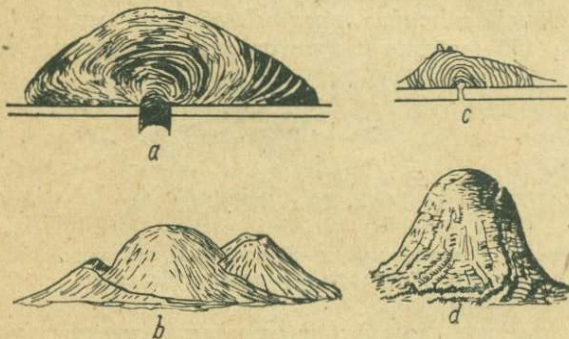


Рис. 3. Структура вулканических конусов.

a — искусственный вулканический конус из гипса; *b* — Пюи де Саркюи, Овернь, Франция; *c* — Теплитцкий Шаосберг, Чехия; *d* — Мамелон, остр. Бурбон, Индийский океан.

в 1888 г., на Катмаи (Аляска) в 1912 г. и на Везувии в доисторические времена (см. стр. 80). Иногда такие взрывы вырывают огромные впадины на склонах вулкана, как в Валь-дель-Бове на Этне. Паразитические конусы на склонах главного вулкана могут значительно изменять очертание горы, и здесь опять Этна дает нам превосходный пример. Кроме того, разломы и сбросы конуса могут произвести изменения очертания, которые

хорошо иллюстрируются исландским примером, изображенным на рис. 4.

С течением времени вулканический очаг охлаждается, извержения уменьшаются и прекращаются, а рост конуса окончательно приостанавливается. Тогда вечно действующие силы денудации начинают беспрепятственно выполнять свою роль, действуя на сравнительно мягкий, более или менее несвязный материал, который образует многие конусы. Обломочная структура скорее поддается вы-



Рис. 4. Разломанный и сброшенный вулканический конус Торсбьорн, Гриндавик, Исландия.

ветриванию; другие, в которых имеются пропластки лавы, могут противостоять выветриванию в продолжение долгого времени, но постепенно и они могут быть стерты в очень неровные холмы, обязанные своим происхождением не одинаковому сопротивлению своих составных частей. Часто единственным остающимся следом прежнего вулканического нагромождения является твердая лава, заполнившая жерло и окончательно закупорившая выходное отверстие. Эта каменная пробка в некоторых случаях сама выветривается, приобретая грубо-коническую форму, похожую в миниатюре на первоначальное очертание вулкана (см. главу VII). Конусы, состоящие главным образом из

лавы, и обширные платообразные покровы лавы, образованные слиянием потоков из соседних вулканов, могут быть очень устойчивыми и могут быть окончательно похоронены почти в нетронутом состоянии под песком и илом последующего наступания моря. В этом виде они сохраняются до будущих времен.

Так мы приходим к краткому предварительному представлению о том обстоятельстве, что остатки прежней вулканической деятельности сохраняются почти в каждой формации геологической летописи в отдельных частях земного шара, и изучение их дает много сведений относительно течения геологической истории. Сохранились не только лавы, которые были извергнуты на поверхность, но также продукты часто гораздо более экстенсивной глубинной вулканической деятельности, которая сопровождает каждое вулканическое извержение. Денудация сначала обнажает внутреннюю структуру вулканического нагромождения, а потом может смести ее совершенно, но как бы ни была значительна эрозия, она не может совершенно смыть глубоко находящиеся очаги и вулканические каналы, где происходила вулканическая деятельность. Какой бы глубины ни достигала эрозия и в каких бы частях света ни появились на поверхности породы, принадлежащие к отдаленному докембрийскому периоду, всегда обнажаются признаки и остатки прежней вулканической деятельности.

Геологический взгляд на вулканы и вулканическую деятельность является предметом заключительной главы этой книги. Здесь достаточно

сказать, что если вулканическую деятельность рассматривать в связи с ходом геологического времени и если ограничить внимание отдельными структурными элементами земной коры, каким является например северо-западная Европа, то в ее проявлениях вскрывается определенная периодичность или ритм. Некоторые геологические периоды были почти или совсем свободны от вулканической деятельности, другие обнаруживают многочисленные признаки ее присутствия. Кроме того вулканическая деятельность повидимому близко совпадала во времени с периодами более важных движений земной коры. Этот ритм не охватывал весь земной шар; вулканическая деятельность была в разное время в разных областях, но всегда повторялось чередование изверженной деятельности и покоя. Так, в Западной Европе в юрский период было время спокойного морского погружения, и осадки отлагались без какого-либо следа вулканической деятельности; в Северной Америке однако это был период континентального поднятия и горообразования, связанного с мощными интрузиями.

Географическое распределение современных вулканов (глава VIII) доказывает их связь с более важными структурными чертами земного шара. Они наиболее обильны и деятельны там, где движение земной коры еще продолжается, как в Японии и в горной цепи Анд. Изучение вулканов и вулканических сил в их геологической связи требует конечно предварительного знакомства с элементами общей геологии, и если читатель заинтересуется этой стороной предмета, он найдет

прекрасное краткое изложение фактов и принципов современной геологии в книге профессора Грегори «The Making of the Earth».

Глава II

ПРОДУКТЫ ВУЛКАНИЗМА

Раньше было указано, что продуктами вулканической деятельности являются газы, лавы и твердые обломочные материалы. В этой главе мы займемся каждым из этих продуктов отдельно, описывая их природу, породу материалов и формы поверхности, которым дают начало лавы и извержения. Хотя вулканологи согласны в том, что газы представляют главный непосредственный источник энергии, проявляющийся в вулканическом извержении, они совсем не уверены в природе и происхождении этих газов. Газы, или вещества, которые могут стать газом при нагревании, присутствуют во всех породах и могут быть освобождены и собраны путем накаливания породы в вакууме. Проф. Р. А. Дейли отнес флюиды (газы и жидкости), которые могут иметь прямое или косвенное отношение к изверженной деятельности, к *магматическим*, т. е. к тем, которые действительно были растворены в расплавленной магме или выделялись оттуда, и к *фреатическим*¹ — флюиды атмосферного или океанического происхождения. Магматические флюиды могут быть, дальше, разделены на *ювенильные*, т. е. восходящие с первоначальной магмой, и *резургентные*

¹ Фреатический от греческого phreatos — колодец.

(воскрешенные), т. е. абсорбированные в магму из соседних пород. Оба рода флюидов могут играть роль в подземной вулканической деятельности и в вулканизме, но трудно, если не невозможно, определить относительную важность каждого в этом процессе. Действительно трудно установить природу ювенильных газов, по причине больших возможностей подмеси и разжижения их другими флюидами, циркулирующими в породах, и атмосферными газами раньше, чем газы достигнут пунктов выхода, где их можно собрать. Более того, при их подъеме из глубины и при их освобождении в атмосферу газы претерпевают большие изменения температуры, давления и концентрации, в результате чего могут произойти химические изменения, которые еще больше затемняют их первоначальную природу. Возможности примешивания газов атмосферы и химических реакций с атмосферой и с флюидами, содержащимися в соседних породах, должны быть больше в лавах, которые были извержены на поверхность, чем в магмах, которые кристаллизовались на большой глубине в земной коре. Этот вывод вытекает из результатов анализов газов глубинных пород, затвердевших лав и газообразных веществ, непосредственно собранных у вулканических выходов.

Магматические газы могут быть классифицированы следующим образом: 1) газы, непосредственно связанные с вулканическим извержением, 2) газы, удержанные или окклюдированные в изверженных породах. Первую группу можно подразделить на вулканические газы, т. е. такие, которые выделяются прямо из выхода во время

извержения, и фумарольные ¹ газы, происходящие из фумарол после извержения. Фумаролы могут быть первичными, т. е. находящимися в кратере и питающимися прямо из магматических источников, или вторичными, расположенными вокруг кратера в древних породах или в самих лавах.

Первичные фумаролы могут давать газы очень похожие на те, которые получаются из свежей лавы, но с увеличением расстояния от выхода их на поверхность увеличивается вероятность значительной подмеси из не магматических источников.

Газы, получающиеся из твердой лавы, в особенности из свежих потоков, можно считать за остатки газов, первоначально присутствующих в лаве, когда она достигает поверхности. Хотя газы, происшедшие из плутонических или глубинных изверженных пород, как можно предположить, имеют меньше примеси из внешних источников чем вулканические газы, однако возможность таких подмесей отнюдь не исключается.

Техника анализов таких неоднородных смесей, как вулканические газы, чрезвычайно трудна и сложна и только недавно была подвергнута испытывающей критике и стандартизирована Е. С. Шепердом и его сотрудниками в Геофизическом институте в Вашингтоне. Вследствие этого очень трудно оценить значение старых анализов их, и поэтому в этой книге будут цитироваться только последние анализы и выводы.

Собирание вулканических газов, вытекающих прямо из устья извергающего вулкана, очевидно

¹ Фумаролы — газовые струи, см. стр. 81.

является чрезвычайно трудной и рискованной операцией и в большинстве случаев совершенно невозможной. Описанные во многих старых исследованиях образцы были собраны из выходов щелей и газовых струй на некотором расстоянии от эруптивного центра, причем было сделано мало попыток, чтобы предотвратить атмосферное загрязнение. Наиболее удовлетворительные сборы были сделаны в 1912 г. и в позднейшие годы сотрудниками Геофизического института и Гавайской вулканической обсерватории, среди которых Дей, Шеперд и Джаггар являются наиболее видными. Сборы были сделаны из наиболее доступного и важного вулкана — огромного лавового озера Килауэа на о-ве Гавайя.

В 1912 г. была сделана попытка собрать вулканические газы раньше, чем они смешались с воздухом. Д. Дей и Шеперд спустились в газовых масках на дно кратера и засунули железную трубку, соединенную с собирательным аппаратом, непосредственно вблизи расплавленного озера в трещину на вершине огромного лавового пузыря, который образовался над действующим газовым фонтаном, пробивающимся через расплавленную жидкость снизу. Во время второго сбора из подобного купола было замечено, что у основания в нем было отверстие, которое впускало воздух, и здесь имело место явление, подобное струе воздуха в горне. Таким образом газы, собранные на вершине пузыря, отчасти сгорали, т. е. свободный водород превращался в воду, свободная сера окислялась в двуокись серы, окись углерода в углекислоту и т. д. Это очень хорошо показывает

Величайшие трудности собирания достоверных образцов вулканических газов и указывает на необходимость критического подхода к результатам анализов.

Газы, собранные таким путем, состояли из пара, двуокиси углерода, углекислоты, двуокиси серы, водорода, азота, серы, хлора, фтора и может быть аммиака. Большое количество воды сейчас же конденсировалось в трубках и в сборах 1917 и 1919 гг.; среднее количество воды (пара) из 24 образцов было 68,2% к объему. Углекислота, азот и серные газы следуют в этом порядке по количеству, тогда как количества углекислоты, водорода и хлора были сравнительно незначительны. Азот содержал аргон в количестве около 3%, в то время как процентное содержание аргона в воздухе только 1,18. Если, как вероятно, эти газы появились в результате атмосферной подмеси, то некоторое количество азота должно было быть израсходовано в магматическом горне на образование аммиака и других азотистых газов.

Установление факта преобладания пара в газах на Килауэа является сильным подтверждением старых и ортодоксальных взглядов, что пар представляет главный фактор в пароксизмах вулканической деятельности, и убедительным опровержением сенсационной теории, выдвинутой Брёном в Женеве в 1911 г., что такие извержения существенно безводны. Брёновское заключение основывалось на следующих фактах. Большое белое облако, выделяющееся из вулканов, не рассеивается в воздухе, как это бывает с паром, но относится ветром на много километров в виде сплошной

О. В. Тиррель
Копия

полосы. Непосредственно над лавой, где пар должен быть не видим, нет темного пространства и нет ни радуги, ни других оптических эффектов. Облако также не увлажняет подветренную сторону кратера, когда оно проходит над ним. Измерение точки росы, произведенное в облаке, показало, что она ниже, чем та, которая наблюдалась в чистом воздухе за облаком. На Везувии падающий вулканический пепел совсем сухой, и гигроскопические соли в некоторых кратерах, которые должны бы измениться вследствие контакта с водой, не изменяются. Наконец, своими методами собирания газа Брён не смог обнаружить воды, хотя он отмечает, что содержащие воду соли кристаллизовались внутри стеклянных трубок его аппарата. Там, где присутствие воды в связи с вулканическим извержением, как например в фумаролах, может быть доказано, Брён считает, что эта вода всегда происходит из метеорных источников.

В ответ на это Дей и Шеперд указывают, что все эти наблюдения могут быть совершенно правильными, но все же они еще не доказывают того, что водяной пар не испаряется во время извержения. Белое облако не исчезает потому, что оно переполнено мельчайшими частицами серы и других твердых веществ и содержит такие высушивающие газы как окислы серы. Эти твердые и газообразные вещества имеют сильную способность притягивать воду, которая конденсируется в жидком виде вокруг частиц. Поэтому *водяной пар*, от которого зависят явление радуги и точка росы, может быть удален из атмосферы внутри облака, и таким образом получится представление, что

облако суше, чем воздух за облаком. Так как сера часто выделяется прямо с поверхности лавы, то не может быть темного пространства между лавой и облаком. Общее мнение среди вулканологов в настоящее время таково: взгляды и выводы Брёна являются не точными, и его наблюдения, часто ошибочные, не дают действительных доказательств против старого установившегося взгляда, что как первичный, так и вторичный водяной пар являются важным фактором в вулканическом извержении.

К газам, взятым из фумарол, могут в значительной степени примешиваться воздух, подземные воды и продукты дистилляции от нагретых окружающих горных пород. Чем дальше расстояние от фокуса извержения, тем более значительно разбавление газов и тем отдаленнее связь с настоящими магматическими газами. В фумаролах долины Десяти тысяч дымов, которые появились в связи с извержением Катмай в 1912 г. (глава VI), пар подавляюще преобладает, составляя в среднем около 99% всего объема газов. Наиболее важными из остальных газов являются хлористо-водородная кислота, углекислота, сернистый водород, азот, фтористо-водородная кислота и иногда болотный газ. Второстепенными газовыми составными частями являются кислород, окись углерода, аргон и аммиак. Есть основание считать, что вода в значительной степени, если не целиком, происходит из поверхностного источника. В этих фумаролах было необыкновенно большое количество фтора и фтористоводородной кислоты.

Газы, выделяющиеся из текущей, остывающей или

твердой лавы, являются, естественно, в общем одинаковыми с теми, которые выделяются во время извержения. Газы из лав Мон Пеле (Мартиник), Лассен Пик (Калифорния) и Гавайских вулканов содержат около 80% воды. Выделение этих газов образует многие из поверхностных форм лавовых потоков (стр. 38)..

В большинстве вулканических выходов и кратеров некоторые из газов приходят во взаимодействие с другими газами и с лавой, образуя вещества, которые отлагаются в виде сублиматов, инкрустаций и порошков на остывших поверхностях породы. Самым важным из этих отложений является несомненно сера. Белый хлористый аммоний и желтый хлорид железа также обычны, и последний часто принимается за серу. Таким образом в кратере, на поверхности лавовых потоков и вокруг фумарол образуется большое число веществ, однако некоторые из них могут быть обязаны своим происхождением вторичным химическим процессам. Часто встречаются окиси металлов и соли. Инкрустации вокруг фумарол в долине Десяти тысяч дымов содержат соединения свинца, меди, олова и цинка, а также обильные окислы железа. Золото было найдено в отложениях серы в кратере Ла-Суффраль в Колумбии.

Единственной особенностью вулканических газов, в которую, так сказать, входит элемент формы, является очертание изверженного облака. Оно часто бывает закрученным и кучевым, подобно тяжелым грозовым тучам. Однако, обычно оно имеет вид прямого столба пара, поднимающегося вертикально на много тысяч метров и потом рас-

пространяющегося горизонтально, подобно ветвям итальянской горной сосны (пинии). Такое именно сравнение было сделано Плинием в описании извержения Везувия в 79 г. до нашей эры. Сравнивали этот столб и с более прозаическими вещами, как например с зонтиком или цветной капустой.

Теперь мы можем обратиться к рассмотрению лавы. Общий химический состав лавы указан на стр. 13. Пределы ее состава ограничены; так называемая кислая лава, например риолит или обсидиан, может содержать от 70 до 75% кремнезема, от 12 до 15% глинозема, от 6 до 8% щелочей, натра и кали и относительно бедна окислами железа, магнием и известью; основные лавы, например базальты, как другой крайний представитель состава, могут содержать от 40 до 48% кремнезема, от 12 до 18% глинозема, от 2 до 6% щелочей, от 7 до 10% извести, от 6 до 15% окислов железа и от 5 до 15% магния. С нашей точки зрения химический состав представляет интерес только потому, что он действует на вязкость расплавленной лавы и таким образом влияет на скорость и расстояние, пройденное потоком, на степень кристаллизации, на очертания конуса, на форму поверхности на структуру застывшей горной породы. Кислые лавы обыкновенно бывают очень вязкими, тогда как основные лавы очень жидки, текучи и подвижны. Их можно сравнить со шлаками металлургических печей. При температурах, господствующих в вулканических выходах, базальтовая лава течет так же свободно, как шлак, но кислые лавы дви-

жуются гораздо медленнее. При прочих равных условиях обильное присутствие газов делает лавы менее вязкими и более подвижными, а потеря газов вызывает быстрое застывание.

Многочисленные измерения температур лав при излиянии показывают, что, как правило, температура колеблется около 1100°C . Однако на Килауэа были отмечены температуры от 1200 до 1300°C . Обыкновенно лава перестает течь, когда ее температура падает ниже 1050°C .

Когда лава поднимается из глубины и вытекает на поверхность земли, тогда уменьшающееся давление позволяет выйти главной массе содержащихся в ней газов. Выделяющийся газ образует пузыри, которые при затвердевании лавы оставляют пустые сферические полости или пузырьки и создают пузырьчатую структуру горной породы. В случае наибольшего расширения лавы во время ее пути, когда она представляет собою род расплавленной пены, образуется материал, называемый пемзой, которая даже плавает на воде. Более быстрое и бурное улетучивание газов с поверхности потока может дать в лаве большие неправильно очерченные пузыри, образующие материал, похожий на шлак. Вязкий поток лавы может сделать пузыри вытянутыми в цилиндрическую или линзообразную форму. Длинные, вертикальные, трубчатые пузырьки или трубки иногда находятся около основания потока. Это происходит благодаря пару, выделяющемуся из подлежащих влажных горных пород при нагревании лавой.

Пузырьки могут оставаться пустыми, но чаще они бывают заполнены вторичными минералами,

среди которых самыми обыкновенными являются кальцит, кварц (включая агат), цеолиты (называемые так по их особенности вскипать при умеренном нагревании) и некоторые богатые водой силикаты железа и магнезии, которые называются общим именем зеленые земли. Во время более поздней стадии остывания заполнение пузырьков может происходить веществами, выделенными из самих лав или принесенными из магмы, откуда происходила лава, но они могут быть заполнены в еще более поздний период веществами, принесенными обычными подземными водами. Выполнения называются миндалинами, вследствие внешнего сходства с миндалем. Про лавы, содержащие миндалины, говорят, что они обладают миндалекаменной структурой, а сама лава называется миндалекаменной или амигдалоидом. Прекрасные примеры амигдалоидов представляют содержащие агат лавы периода древнего красного песчаника, которые обнажены на Форфарширском и Айрширском берегах Шотландии, выветривание которых освобождает агаты, образуя «Scotch pebbles» (шотландские гальки), которые находятся среди береговой гальки. Прекрасно окристаллизованные цеолиты каменноугольной базальтовой лавы западной Шотландии, третичных базальтов Бомбея и триасовых базальтов Вотчунг в Нью-Джерси можно найти в каждом минералогическом кабинете и музее США. Мировая добыча исландского шпата, совершенно прозрачной разновидности кальцита, широко применяемой для оптических инструментов, происходит из одной газовой полости в исландской лаве.

Поверхности лавовых потоков могут представлять два совершенно различных вида, настолько отличимые, что почти в каждом районе, где встречаются свежие лавы, им были даны особые названия. Первый тип наиболее известен под именем глыбовой лавы. Поверхность потока покрыта массой грубых, зазубренных, угловатых глыб всевозможных очертаний и размеров, которые при движении лавы перемещаются вдоль потока с шумом от ударов и трения подобно реке шлака. Если читатель вообразит кучу грубейшего шлака, какой он когда-либо видел, и преувеличит в своем воображении в несколько раз ее неправильности, то он получит некоторое представление о фантастически грубой поверхности глыбовой лавы. Туземное гавайское название *аа* часто употребляется вулканологами для этого типа лавы. В Исландии она называется *апалхраун* (исландское *апал* — серый мох, *храун* — лава), указывая на серый мох, который в этой стране быстро покрывает такие потоки. На острове Ренъён (Индийский океан) ее называют *гратон* лава. Систематическое название *афролит* (греческое — пенистый камень) было дано глыбовой лаве Джаггаром.

Некоторые лавы, однако, затвердевают с сравнительно гладкими, часто очень глянцевыми поверхностями, которые обнаруживают сморщенные, тягучие канатоподобные формы, имеющие сходство с теми, которые получаются при течении смолы. Их поверхности часто разнообразятся положениями куполами или пузырями в несколько метров в диаметре, в которых развиваются характерные радиальные трещины. Это волнистый тип лавы,

называемый *пехуху* в Гавайе, *хеллухраун* (исландское *хеллу* — гладкий) в Исландии и *дермолит* (греческое — кожистый камень) — Джаггаром.

Эти два типа лавы кроме того отличаются своей пузырчатостью. В глыбовой лаве газовые пустоты большие и неправильные, тогда как в волнистой лаве они находятся в большем количестве, меньше размером и, главным образом, правильных сферических очертаний. Объем полостей пузырей на единицу объема лавы больше в волнистой, чем в глыбовой лаве. Волнистая лава также более стекловата, чем глыбовая лава.

Думают, что волнистая лава вытекает при более высокой температуре, чем глыбовая лава, но содержит меньшее количество газа. Поэтому этот тип лавы течет сравнительно спокойно, а газ выделяется хотя и быстро, но также спокойно, и лава застывает с минимальной степенью кристаллизации. Глыбовая лава, напротив, содержит такое большое количество газа, что если даже она вытекает при сравнительно низкой температуре, то она еще совсем жидкая. Газ выделяется почти со взрывами, ломая поверхность, превращая ее в массы, которые немедленно застывают в грубых отдельных глыбах. Они погребают движущуюся лаву под покровом глыб, которые с шумом двигаются впереди потока, то перекатываясь над ним, то сливаясь с ним, часто принимая вид, обманчиво похожий на массу аггломерата (стр. 56).

Крайнее развитие волнистого типа лав в результате дает образование замечательной структуры, известной под названием *подушечной* (*pillow*)

или эллипсоидальной структуры, в которой лава имеет вид кучи из небольших округленных масс, похожих по форме и размеру на подушки, валики или набитые мешки. Подушки обычно имеют пузыристую корку, иногда стекловатую оболочку и в поперечном сечении обнаруживают полосатую концентрическую структуру. Подушки взаимно вдавливаются одна в другую, как если бы они были мягкими во время их образования. Они часто вытягиваются и обнаруживают заметный параллелизм своих длинных осей. Прилегающие подушки могут соединяться по бокам при помощи коротких трубочек и шеек.

Современное образование подушечной лавы наблюдалось Темпест Андерсоном в Самоа. Базальтовая лава из вулкана Матавану на о-ве Савайи стекала в море. Было видно, как только она соприкасалась с водой, так овоидальные массы волнистой лавы вспучивались и развивались наподобие луковицы или бутылки с узким горлышком и увеличивались таким образом в размере до тех пор, пока они не становились выступами такой величины, как подушки или диванные валики. Соединяющие трубки были обычно так коротки, что вновь образованные выступы выглядели нагроможденными один на другой.

Подушечная лава почти постоянно встречается в ассоциации с затвердевшими морскими илами и с кремнистой породой, представляющей нечистый кремнезем, в котором находятся остатки кремнистых организмов, известных под названием радиолярий. Прекрасные примеры древней подушечной лавы принадлежат к ордовичскому периоду гео-

логической истории и встречаются на Айрширском берегу (Шотландия) близ Баллантри. Они были найдены среди наиболее древних когда-либо открытых лав, именно среди лав формации Кьюогин в Онтарио, которая принадлежит к самой древней докембрийской эре. / Их геологическое нахождение, так же как наблюдения Т. Андерсона, показывает, что подушечная структура получается, когда лава течет в воду или внедряется в ил на дне моря. Экструзия под проливным дождем или под слоем льда, как это бывает в Исландии, может вызвать достаточно быстрое охлаждение, чтобы образовать такую структуру в лаве подходящего состава и физических свойств.

Когда крепкая, толстая, твердая кора образуется сверху лавового потока, жидкий еще материал, находящийся под этой корой, может спокойно вытекать, оставляя широкие более или менее вытянутые пустоты, которые иногда имеют размеры туннелей. В лаве на склоне горы Шаста (Калифорния) описан один из таких туннелей высотой от 20 до 25 м, в ширину от 6 до 20 м, с крышей от 3 до 20 м толщиной, и по нему было пройдено 1,5 км, причем конец его не был достигнут. Знаменитым исландским примером является пример Суртошеллира, где, по Торродсену, туннель имеет 1600 м в длину.

Выход газа или лавы через твердую кору потока образует много замечательных маленьких форм, иногда похожих на миниатюрные вулканы; их сравнивали с дымовыми трубами, органными трубами, шалашами или башнями, хотя формы их необыкновенно разнообразны. Небольшие скопле-

ния газа в очень жидкой лаве могут поднять пузыри в несколько метров в диаметре и несколько метров вышиной над пластичной поверхностью потока. Пузырь может оставаться цельным и пустым, и в нем бывают красивые лавовые капли и сталактиты, свешивающиеся с его верхней поверхности; но большей частью он лопается с образованием зияющих радиальных трещин. Более сильное выделение газа, приближающееся к взрыву, может раздробить еще пластичную лаву на большие и маленькие обломки, которые выбрасываются в воздух и, падая обратно, образуют трубу с очень крутыми стенками или приобретают рупорообразную форму—лавовые столбы или конусы разбрызгивания. Очень жидкая лава, выброшенная таким же образом, падает обратно в виде капель или «лавовых слез», которые могут снова затвердеть в виде построек с крытыми сторонами фантастической формы; они известны под названием *капельных конусов* (dribble cone). В Исландии описаны своеобразные формы лав, подобные органическим трубам, которые считаются затвердевшими лавовыми фонтанами. Когда выделение газов со взрывами происходит из лавы, поверхностная корка которой совершенно затвердела, то над миниаюрным выходом может образоваться маленький нормальный конус из пепла и шлака. Экструзия вязкой лавы через существующее уже отверстие или трещину в корке потока может привести к образованию цилиндрического, квадратного или неправильного, подобно шалашу или башне строения. Эти небольшие образования на лавовых потоках могут сильно различаться по форме и про-

исхождению, и их природа еще недостаточно исследована. Когда взрыв происходит в вулканическом фокусе или при чрезвычайно быстром развитии газа в лавовой колонне, или при внезапном образовании пара разными другими путями, получается большое количество обломочного материала, который выносится из кратера, выбрасывается высоко в воздух и падает на различных расстояниях соответственно размеру обломков. Много грубого материала падает обратно в жерло, более мелкие обломки прилепляются к поверхности конуса и способствуют его дальнейшей надстройке, тогда как тончайшая пыль может быть отнесена ветром в далеко отстоящие местности. Таким образом происходит определенная сортировка изверженных обломков по размерам, и классификация таких материалов в первую очередь делается на этом именно основании (см. стр. 48).

Этот материал можно разделять также по происхождению обломков. *Родственные* (cognate) выбросы те, которые происходят от раздробления взрывом свежей расплавленной лавы; *акцессорный родственный* (accessory cognate) материал состоит из обломков более древних, ранее затвердевших лав, принадлежащих к тому же циклу изверженной деятельности и происходящих от прорыва временной лавовой пробки, заполняющей выход, или от абразии его стенок. Обломки грубозернистых пород — глубинных эквивалентов эруптивных лав, которые могут встречаться в корнях вулкана, могут быть названы *плутоническими родственными обломками* (субвулканическими, по

Вашингтону). Эти три группы родственных обломков связаны генетически и состоят из материала, принадлежащего к одному и тому же циклу изверженной деятельности, но образованы при различных условиях. Они резко отличаются от случайного материала, который состоит из обломков осадочных метаморфических или изверженных пород, прорезанных жерлом, и они не имеют генетической связи с изверженной магмой. Пятый класс обломков, обращающий на себя внимание в некоторых вулканических выходах, как например в алмазонасных трубках Кимберлея, состоит из горных пород, принадлежащих к самым глубоким слоям земной коры. Они могут быть соответственно названы *интрателлурическими* (происшедшими из глубины).

Различие, которое часто трудно установить, — это различие между обломочными накоплениями одновременного и не одновременного происхождения. Одновременные накопления представляют отложения, возникшие прямо при самом извержении; но существуют грязевые потоки, обязанные своим происхождением проливным дождям, которые сопровождают вулканические извержения, действуя на накопления тонкого выброшенного материала; или отложения (возникшие при сухих лавинах), которые отлагались внутри очищенного кратера вскоре после извержения (как это было на Везувии в 1906 г.). Спрашивается, можно ли их считать одновременными? Автор придерживается мнения, что их надо считать такими, так как они представляют существенные части явления, непосредственно сопровождающего

вулканическое извержение. С другой стороны, те накопления вулканических обломков горных пород, которые образовались при действии ветра и воды долгое время спустя после извержения, давшего этот материал, могут быть отнесены без затруднения к не одновременным.

Так как обломочные выбросы вулканов часто падают в море или в озера, они могут быть смешаны с обыкновенным песком и илом на дне озера или моря. То же можно ожидать, понятно, и в подводных извержениях.

Далее, перенос материала течениями и волнами может дать отчетливую сортировку и слоистость, но эта особенность может быть также характерна для накопления вулканических обломков на суше. С другой стороны, продукты грязевых потоков, раскаленных туч (Мон-Пеле, 1902 г., см. стр. 76) и кратерных лавин являются часто беспорядочными и хаотично смешанными и лишены малейших признаков сортировки и стратификации.

Изучение обломочных вулканических выбросов является важным потому, что многие авторитеты считают, что в большинстве современных извержений количество рыхлых обломков превосходит количество изверженной лавы в десять или даже в сто раз. Согласно голландскому геологу Вербеку, извержение Тамборо (Сумбава, Ост-Индия, в 1815 г.) дало около 150 км^3 обломочных материалов. Тот же автор считает, что знаменитое извержение Кракатау (Ост-Индия) в 1883 г. дало 17 км^3 пепла. Согласно Томасу, извержение Тавравера (Нов. Зеландия) в 1886 г. дало $1,5 \text{ км}^3$, а японские вулканологи Секия и Кичучи насчи-

тывают количество раздробленного материала, выброшенного большим взрывом пара на Бандайсане в 1888 г., около $1,2 \text{ км}^3$.

Первые взрывы в новом вулканическом центре дают материал богатый случайными обломками, происходящими от пробивания выхода через окружающую породу; поэтому слои этого рода вулканических обломков часто встречаются в основании серии вулканических отложений. По той же причине обломочный материал, заполняющий выходы вулканов, происшедших от одного только взрыва или от небольшого числа взрывов, как например маары Эйфеля (Германия) или вулканические жерла пермских «зеленых холмов» средней Шотландии, также содержат многочисленные случайные обломки. Однако, во вполне установившихся вулканах, которые создали большие конусы и действовали в продолжение долгого времени, обломочные выбросы состоят главным образом из родственных классов, только с небольшой примесью глубинного, случайного или интрателлурического материала.

Самые тонкие продукты вулканического извержения называются вулканической пылью или пеплом. Этот материал часто так неосязасемо тонок, что он проходит через самые маленькие отверстия в закрытое помещение и может переноситься в верхних слоях атмосферы на огромное расстояние. Во время извержения Аскии (Исландия, в 1875 г.) пемзовый пепел был отнесен на западный берег Норвегии через 11 часов 40 минут и до Стокгольма в следующие после извержения 10 часов. Говорят, что очень тонкая пыль извержения Кра-

катау в 1883 г. пропутешествовала вокруг света и вызвала великолепные закаты в следующую зиму и весну. Более современным примером является Ксудач, небольшой камчатский вулкан, извержение которого 28 марта 1907 г. выбросило около 2,9 км³ желтой пемзы и пыли. Некоторые атмосферные явления в Европе в 1907 г., как например, удлинение сумерек и ослабление дневного света, так же как замечательные ночные облака и «белые ночи» 1908 г., приписывались присутствию пыли в атмосфере из Ксудача. *дл. р. 10.11*

Вулканическая пыль бывает обычно сероватого цвета, она легкая и порошковатая; поэтому естественно, что для нее применяется название пепла. Хотя в этом термине слышится ошибочное представление о горении, однако нельзя рекомендовать отказаться от него, так как он вошел уже в литературу и широко употребляется как удобное полевое название для тонкозернистых вулканических отложений и как стратиграфическое название для некоторых древних отложений, как например пеплы Сноуден (Ордович), которые имеют широкое развитие.

Под микроскопом видно, что вулканическая пыль состоит из мелких осколков разного вида и клочков стекла, смешанных с кристаллическими частицами и крошечными обломочками горных пород, происходящими из всех материалов, которые слагают вулканическое образование. Так как стеклянные обломки происходят часто от разрыва пузырчатого или пемзового стекла, то они имеют характерные вогнутые или дугообразные очертания (рис. 5).

Несколько более грубые вулканические обломки горных пород, варьирующие между размерами просяного зерна и горошины, иногда называются вулканическим песком или гравием. Этот материал обычно содержит большее количество обломков минералов и горных пород, чем вулканическая пыль.

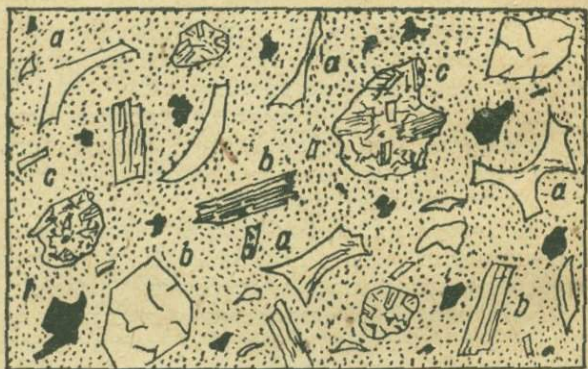


Рис. 5. Вулканический пепел.

a — обломки пемзы и стекла; *b* — обломки минералов; *c* — обломки горных пород; черные пятна — окислы железа. Увеличение около 30 раз.

Следующая степень по размерам вулканических обломков, заключающая обломки величиной между горошиной и грецким орехом, известна под названием лапилли, от итальянского слова для обозначения таких материалов. Сюда включаются все сорта вулканических выбросов родственного или случайного происхождения. Лапилли обычно бывают маленькими, неправильными, похожими на

кокс кусками свежей лавы или маленькими обломками старых лав. При подходящих условиях лапилли случайного, интрателлурического или глубинно родственного происхождения местами могут быть обильными. Лапилли свежей лавы могут падать частью в пластическом состоянии и поэтому могут слипаться в твердую пористую массу. Действие сильного ветра на фонтан очень жидкой лавы, как в Килауэа, может быть причиной того, что лава отдувается в виде тонких стеклянных нитей, которые известны под названием *волосы Пеле* (Пеле — богиня огня гавайских туземцев).

Раздробление взрывами лавы, в которой произошла значительная кристаллизация, приводит к образованию интересных накоплений лапилли, состоящих главным образом из угловатых и хорошо ограниченных кристаллов. Так например, Везувий во многих случаях извергал обильные кристаллы лейцита и авгита; Монте Росси, второстепенный кратер Этны, замечателен своими авгитовыми кристаллами; гора Эребус (Антарктика) дает бесчисленное количество прекрасных кристаллов щелочного полевого шпата (анортоклаз) с ромбическими очертаниями, а Миякишима (Япония) 5 июля 1874 г. выбросил много кристаллов известкового полевого шпата (анортита).

Самый грубый материал, выброшенный вулканами, достигает размеров от небольших кусков диаметром в 2,5 см до огромных глыб, измеряемых кубическими метрами и весящих тонны. Название *шлака* применяется к грубым, похожим на клинкер, кускам свежей лавы; но самые большие глыбы — это просто массы, оторванные от боков

выходного отверстия или происходящие из прежнего твердого заполнения его, так что главным образом они состоят из древних туфов и лав этого вулканического центра. Глыбы случайного происхождения естественно встречаются в наибольшем изобилии среди продуктов самых ранних извержений.

Наиболее интересными типами грубых выбросов являются так называемые бомбы, которые бывают круглыми, овальными, грушеобразными, веретенообразными или дискоидальными массами лавы, изменяющимися от размеров кулака до размеров головы, хотя одна бомба из Вулкано, описанная Бержа, содержала около 25 м³ материала и весила 68 т. Многие бомбы полые и их корка делается по направлению от центра к наружной поверхности более тонкой и зернистой. Другие — насквозь сплошные, но внутри обнаруживают более или менее пузыристую или пензовую структуру. Иногда ядро бомбы состоит из массы старой лавы, или даже из случайного включения, которое покрыто новой лавой. Обыкновенно это стекловатая корка. Несомненно бомбы приобрели свои формы и структуры при вращении в воздухе. Они представляют массы полужидкой лавы, оторванной газовыми взрывами от поверхности лавы внутри кратера. Быстрое движение в воздухе охлаждает и способствует затвердеванию наружной корки до стекловатого состояния, тогда как центробежная сила вращения допускает расширение внутренних газов, производящих кавернозную пузырчатую внутреннюю часть. Расширение газа иногда разрывает корку, с образованием непра-

вильных трещин, которые придают поверхности сходство с плохо испеченным караваем — отсюда происходит название бомбы с хлебной коркой (bread crust bomb), примененное к этому типу Джонстон-Лэвисом.

После извержения части кратера остаются в сильно раздробленном и разрушенном состоянии. Поэтому, как только деятельность вулкана кончается, происходит ряд обвалов, которые стремятся заполнить пустоты, произведенные извержением (Везувий, 1906 г., см. стр. 134). Материал этих обвалов представляет беспорядочную не сортированную массу пыли, лапилли и глыб, которые состоят из родственных и акцессорно-родственных обломков.

Такую же природу имеют отложения нисходящих раскаленных газовых туч, тяжело нагруженных обломочными материалами (*nuées ardentes*), которые вырываются во время извержения пелейского типа (см. стр. 76), и накопления, образованные ужасными взрывами пара, каким был например взрыв, снесший больше половины Бандайсана (Япония) в 1888 г.

Обломочные вулканические продукты легко уплотняются и затвердевают в прочную горную породу. Многие из них состоят в значительной степени из стекловатого вещества, химически неустойчивого. Под действием просачивающихся вод и свободных кислот вулканического происхождения, которые они сохраняют, частицы распадаются, образуя вторичные соединения, связывающие вместе материалы в твердую компактную горную породу. Если отложения совсем не сно-

ются последующей эрозией, а с течением времени хоронятся под накоплениями более новых осадков, то причиной возникновения связи и затвердевания является просто давление верхнего материала. Затвердевшие и цементированные горные породы, состоящие из обломочных вулканических выбросов (пирокластические¹ горные породы), известны под названием аггломератов или туфов соответственно тому, грубые ли они или тонкие.

Это свойство быстрого затвердевания и цементации иллюстрируется тем фактом, что некоторые обломочные вулканические отложения добываются в каменоломне мягкими или легко распиливаются в штучные камни, но, полежав на воздухе, быстро становятся достаточно твердыми, образуя хорошие строительные камни. Кроме того пуццоланы (вулканический туф Неапольской области), смешанные с известью, образуют гидравлический цемент, который схватывается под водой. Он впервые употреблялся римлянами. Искусство приготовления гидравлического цемента позднее было утеряно, но в 1756 г. вновь открыто английским инженером Смитом при постройке третьего Эддистонского маяка. Он пользовался смесью равных частей землистого известняка и трасса из Эйфеля (Рейнская провинция), представляющего вулканический туф. Особенная ценность пуццолана, трасса и подобных материалов в цементном производстве заключается в том, что их стекловатые частицы неустойчивы, легко соединяются с известью и схватываются, затвердевая без обжига.

¹ Пирокластический — разрушенный огнем или жаром.

Грязевые потоки, которые сопровождают некоторые вулканические извержения, образуют беспорядочные смеси глыб, лапилли и пыли, которые высыхая превращаются в твердую породу. Их можно отличить от подобных же беспорядочных агрегатов, которые образуются при обрушениях кратера и в раскаленных тучах, по тому признаку, что тонкий ил намывается в поры и пустоты пемзовых обломков лавы и потому, что здесь часто бывает грубая слоистость, соответствующая размерам обломков, — более крупные глыбы появляются в большем количестве у основания отложения. Грязевые потоки могут происходить при одновременном выбросе обломочного материала и огромных облаков пара, вследствие прорыва кратерных озер вслед за возобновлением вулканической деятельности или от проливного дождя на массы вулканической пыли. Иногда, когда дождь недостаточен, чтобы совершенно смочить поверхность, происходит любопытное явление. Отдельные капли заставляют пепел скатываться в маленькие шарики грязи, которые, если их скоро покроет свежий надутый ветром слой сухого пепла, могут сохраниться в виде маленьких, подобных горошинам, телец (пизолиты) в получающемся туфе.

Пыль, пепел и лапилли, которые выбрасываются во время извержения, могут распространяться на площади, измеряемой сотнями или даже тысячами квадратных километров, в виде непрерывного слоя, который становится все более мелкого и тонкого зерна по мере удаления от вулканического фокуса. Такие накопления часто очень хо-

рошо слоисты. Последовательность таких слоев может получиться при повторных взрывах, и если они сохраняются от эрозии, они могут в конце концов образовать составные части какой-нибудь формации. Так Сноудон (северный Уэльс) в значительной степени сложен слоями вулканического пепла извержений ордовичского периода; а в отложениях возраста лондонской глины на южных и западных берегах Балтийского моря находятся слои тонкого базальтового пепла, которые соответствуют извержениям давно потухших вулканов Гебридских островов и Исландии.¹

Вулканический обломочный материал, который падает в воду или извергается под водой, может быть отсортирован волнами и течениями и таким образом может стать также хорошо слоистым. В таких случаях к нему могут быть подмешаны нормальные осадки морского или озерного дна.

Компактные и затвердевшие накопления шлака и глыб, сцементированные пеплом и его продуктами разложения, называются агломератами. Этот материал естественно образуется в самом вулканическом фокусе или около него и является главным заполнением древних вулканических выходов. Обломки кратерных обвалов и отложения раскаленных туч также могут быть связаны в аггломераты. Агломерат и туф могут, конечно, состоять из какого-нибудь одного или из разных сортов материала (описанного на 45 стр.), смешанного в разных пропорциях.

¹ В Исландии вулканическая деятельность продолжается до настоящего времени.

Горные породы, которые могут считаться переходными между аггломератом и лавой, могут происходить разными путями. В своем подъеме из вулканической воронки лава может захватывать и выносить большое количество грубых обломков; или она может течь по поверхности, устланной обломками предшествовавших взрывов, или по усыпанной глыбами поверхности старой лавы. Далее глыбовая лава постоянно перекачивает и захватывает шлак и глыбы, которые сталкиваются внизу у ее спуска, двигаясь впереди лавового потока. Таким путем образуется аггломератоподобная горная порода, в которой обломки сцементированы лавой.

Когда из вулкана выбрасываются пластический шлак и глыбы, то накопление глыб, имеющее сходство с аггломератом, может быть образовано слипанием обломков при их затвердевании. Тогда цементом является тонкая стекловатая корочка глыб в местах их соприкосновения. Такие горные породы могут быть названы агглютинатами, и они отличаются от аггломератов присутствием стекловатого цемента, обломками раздробленного шлака в промежутках между глыбами и полным отсутствием пеплового цемента.

Глава III

ЯВЛЕНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ

В этой главе мы намерены дать общий очерк главных явлений вулканического извержения; более детальное описание и объяснение отдельных типов

вулканов и вулканической деятельности будет дано в следующих трех главах.

Зарождение нового вулкана или возобновление действия уже установившегося фокуса часто возмещается некоторыми предварительными явлениями. К этим предупреждающим признакам относятся: землетрясение и подземные гулы; медленные вертикальные или неправильные движения окружающей местности; возрастание в соседстве с вулканом температуры почвы и соответствующие явления, которые производят это нагревание.

Вулканические землетрясения могут быть необычайно сильными, но они ограничиваются небольшой площадью, так как их исходный пункт находится на очень малых глубинах. Они усиливаются в частоте и интенсивности по мере того, как приближается начало извержения, и продолжают усиливаться вместе с его развитием, доходя до такой степени, что вулкан дрожит как плохо уравновешенный паровой котел и замирает, когда лава вытекает и происходит максимальное выделение газов. Вулканические землетрясения могут происходить от подземных взрывов, которые производят магматические газы, или от обрушения кровли и боков больших пустот, образовавшихся под вулканом вследствие опускания лавовой колонны.

Несмотря на то, что вулканические землетрясения могут быть очень сильными и частыми, за ними не обязательно следует извержение. Вероятно тогда они указывают на неудавшееся извержение, при котором энергии, развиваемой магмой, оказалось недостаточно, чтобы последняя

могла прорваться на поверхность. Рычание, рев, грохот, громовые раскаты и удары взрывов, которые часто слышны в районах вулканов перед извержением, вероятно вызываются теми же причинами, что и землетрясения, или в некоторых случаях могут представлять звуковые эффекты самого землетрясения. По силе и характеру они подобны звукам, которые сопровождают тектонические землетрясения в невулканических районах.

Медленное движение земли, которое больше всего поражает нас, когда оно перемещает береговую линию, часто предшествует или сопровождает вулканическое извержение. Наиболее известным примером является то движение, следы которого обнаружили на колоннах храма Сераписа в Пощуоли в связи с извержением Монте Нуово (стр. 60).

Однако самым надежным указанием приближающегося извержения является поднятие температуры в самом вулкане и в окружающей почве. Это поднятие температуры может проявляться несвоевременным таянием снеговых вершин на вулканических конусах, исчезновением кратерных озер, высыханием колодцев и ручьев, возрастанием температуры и деятельности горячих источников и фумарол и изменениями в составе их эманаций. Увеличивается количество газовых выделений, которые скопляются в погребах, ямах и колодцах. В 1892 г. возрастание температуры в вулкане Пакайя в Гватемале проявилось в том, что на некоторых участках засохла вся растительность. В 1902 г. площадь необрабатываемой почвы увеличилась еще больше. Однако и в этом случае

извержения не произошло. Подобным образом в октябре 1911 г. растаял снег на северо-западном секторе Котопаху, но опять без извержения. В обоих случаях магма в вулканических воронках несомненно поднялась, но не имела достаточно энергии для извержения.

Все эти предваряющие симптомы могут таким образом пройти без эруптивного последствия. Наоборот, извержение может произойти без малейшего очевидного предупреждения, что видно, например, из того, что такой тонкий наблюдатель, как Палмьери, покинул обсерваторию на Везувии ночью, накануне большого извержения 1872 г., с твердой уверенностью, что нет никакой опасности, так как не было предупреждающих знаков извержения. Поэтому, несмотря на то, что предложение Кёнигсберга производить на всех действующих вулканах периодические измерения температуры в колодцах и буровых скважинах помогло бы предупреждать население об ожидаемых извержениях, однако наблюдения над возрастанием температуры могли бы также часто вызывать ложную тревогу.

Достоверные сведения о происхождении и появлении новых вулканов редки, но имеющиеся данные указывают совершенно ясно, что во всяком случае в исторические времена новые вулканические центры появлялись только в уже существующих районах, но никогда в не вулканических областях. Классическим примером является Монте Нуово, вулканический конус в 134 м вышиной, который стоит на берегу Неаполитанского залива. Сведения, собранные В. Гамильтоном,

убедительно доказывают, что до 29 сентября 1538 г. никакого холма не существовало на этом участке, который тогда частично занимало Лукринское озеро. Извержение предварялось в продолжение двух лет землетрясениями, которые постепенно возрастали в интенсивности. Море отступило на некоторое расстояние за день до извержения. Затем открылся выход, из которого сначала показалась вода, после этого отверстие разверзлось зияющей трещиной, в которой был виден раскаленный докрасна материал, и в течение двух дней и ночей из этой трещины было выброшено обильное количество белой пемзы и большая масса камней, которые образовали значительный конус. После временной приостановки на один день начались менее сильные извержения, которые были причиной смерти и увечья нескольких отважных зрителей. Деятельность замерла на восьмой день после начала извержения и с тех пор никогда не возобновлялась. Монте Нуово имеет широкий, хорошо очерченный кратер и представляет теперь правильный конус с основанием, имеющим около $\frac{2}{3}$ км в диаметре.

Новое извержение Хорульо в Мексике произошло в ночь с 28 на 29 сентября 1759 г. на большой равнине между существующими вулканами Толука и Колима. Извержению предшествовали начавшееся за три месяца дрожание земли и почти непрерывные подземные гулы. В течение нескольких первых часов от начала взрыва черный пепел толщиной в 30 см лег на окружающую местность. После были извергнуты лавы, которые покрыли площадь больше чем 8 км². Одно-

временно с Хорульо открылись по соседству пять других эруптивных центров. Первоначально типу вулкана Хорульо придавали большое значение, потому что Гумбольд, введенный в заблуждение рассказом одного ненадежного очевидца о том, как почва вздулась как пузырь, который лопнул и разбросал камни, выдвинул теорию поднятия вулканических конусов, приписывая их происхождение пузыреобразным вздутиям земной коры. Скроп однако указывает, что извержение происходило из расщелины; и Гобсон из пересмотра имеющихся данных (*Geological Magazine*, 1907) полагает, что деятельность Хорульо представляла переходный тип между трещинным и кратерным извержением.

Новый вулканический центр возник сравнительно недавно (18 ноября 1909 г.), в области Чинейро, Тенериф. В этот день один фермер и его сын были всего на расстоянии 100 м от места впервые начавшегося извержения. Почва под их ногами начала качаться, и два раза они слышали шум. Наконец земля треснула с ужасной силой, кусты взлетели в воздух, и огромное количество черной и красной земли, песка и камней, смешанных с паром, было выброшено на высоту около 80 м. Песок был так горяч, что невозможно было его держать в руке, хотя раскаленного вещества не было видно до момента, пока свидетели не пустились бежать. Извержение, которое в конце концов дало больше лавы, чем обломочных материалов, продолжалось до 28 ноября.

Время от времени сообщения о внезапных проявлениях на море колонн пара, газа и пламени,

земля не испытывала таких больших вулканических катастроф, как во времена, которые геологически являются недавним прошлым. Современные трещинные извержения являются как бы слабыми тенями тех мощных извержений, которые образовали плато Колумбии и Змеиной реки в Северной Америке, а также лавовые основания Исландии и Гебридских островов.

Во время путешествия в 1879 г. Арчибальд Гики пришел к тому заключению, что необходимо допускать существование огромных по масштабам трещинных извержений для того, чтобы объяснить наличие больших базальтовых массовых излияний Колумбии и равнин Змеиной реки северо-запада США.

Лава стирает первоначальные черты рельефа земной поверхности, распространяется через долины и окружает холмы, как будто бы она залила страну подобно наводнению. Ни он, ни другие исследователи не нашли конусов, откуда могли исходить лавовые потоки; и по сравнению с колоссальным объемом лавы можно отметить лишь незначительное количество обломочного материала, получившегося при взрывах. Подобные базальтовые массовые излияния более древнего возраста, которые подверглись глубокой эрозии, как например излияния внутренних Гебридских островов, обнаруживают основание, которое инъецировано системами больших дайк, состоящих из той же самой магмы, хотя непрерывный переход дайк в отдельные потоки может быть обнаружен только редко. Эта ассоциация и факт, что некоторые из дайк продолжают вверх через нижние потоки и таким образом доставляли

материал для более поздних слоев, повидимому, определенно говорит в пользу взгляда Гики о трещинных извержениях (стр. 174).

В настоящее время Исландия является типичным театром трещинных извержений, как это было в еще большем масштабе в геологическом прошлом; но явления небольших и сравнительно слабых трещинных извержений настоящего времени можно считать только отчасти представителями этого типа. Однако, исландские извержения это единственные трещинные извержения, которые мы можем наблюдать.

Трещина может быть зияющей расщелиной, из которой тонко-флюидная лава выливается сразу на всем ее протяжении в виде слоя, наводняющего окружающую местность. Часто, однако, трещина отмечается многочисленными кратерами, откуда вытекают большие потоки лавы. По направлению более активных центральных частей трещины эти кратеры сложены из сварившихся масс шлака, которые были выброшены в пластическом состоянии и спаялись вместе (агглютинаты); но к концам трещины, где вулканические силы слабее всего, происходят только взрывы с образованием нормальных конусов.

Большое извержение вулкана Лаки в Исландии в 1783 г. происходило из трещины вышеописанного типа, которая была длиной около 30 км и протягивалась с северо-востока на юго-запад. Из нее вылились огромные лавовые потоки, которые растекались на протяжении 65 км с западной стороны и 45 км с восточной стороны трещины. Площадь в 565 км² была покрыта лавой, и под-

считано, что она имеет объем в 12,5 км³. Объем вулканической пыли и шлака, разбросанных на окружающей местности, оценивают около одной четверти этого количества. Это извержение было конечно самым большим во все исторические времена, однако оно еще мало по сравнению с огромными базальтовыми излияниями, которые покрыли Исландию, когда современный вулканический цикл был молодым.

На некоторых исландских вулканических трещинах возникали большие центральные конусы. Лава их поднималась по тем же самым каналам из глубин, но ее выход на поверхность ограничивался одним или несколькими определенными пунктами вдоль трещин. Таким образом получают совершенно постепенные переходы между с одной стороны настоящими трещинными извержениями, в которых лава выливается по обе стороны трещины или как своеобразные потоки, или из многочисленных тесно расположенных маленьких, сваренных из шлаков конусов, и с другой настоящими центральными извержениями, во время которых лава выходит в некотором количестве в небольшом числе пунктов, или даже только в одном пункте вдоль глубоко расположенной трещины. На то, что центральные вулканы воздвигаются над трещинами в земной коре, указывает их частое расположение по хорошо выраженным линиям (глава VIII). Гекла, более известный исландский вулкан, ясно построен над трещиной, так как представляет скорее гребень, чем конус, и дает вытянутый в линию ряд кратеров на его вершине.

Обратимся теперь к рассмотрению явлений

в центральных вулканах. Как было указано в главе I (стр. 17), центральные вулканы бывают разных типов, начиная от таких, которые обладают целиком или главным образом эффузивной формой деятельности, изливая, как правило, очень жидкие базальтовые лавы, воздвигающие огромные куполообразные массы, доходя через смешанные типы, выбрасывающие как лавы, так и в некотором количестве обломочные выбросы, до чисто взрывных вулканов, вообще отмечающих приближающийся конец вулканического эпизода.

Эффузивный тип создал самые крупные вулканические постройки на земле — в Гавайе и Исландии. Глава IV посвящена изучению таких форм в их типичных проявлениях. Здесь можно заметить, что щитовые вулканы, как называется этот тип, характеризуются своими огромными размерами, правильной формой, малым углом склона, который редко превышает 8° , и плоским очертанием купола. Очень большой кратер на вершине может быть с внутренней стороны окаймлен вокруг наподобие уступов кольцеобразными платформами и с наружной — кольцом маленьких кратеров (тип Дингью, Исландия). Однако, кратер может быть и совершенно лишен этих особенных черт (тип Гавайи). Щитовые вулканы характеризуются колоссальными эффузиями базальтовых лав, которые текут на много километров во всех направлениях, настолько жидкими, что они могут распространяться слоями, не превышающими несколько метров или даже частей метров в толщину. Взрывы, хотя они могут быть абсолютно очень сильными, являются относительно подчи-

ненными излиянию лавы. Кроме того, именно в этом типе вулкана наблюдаются явления более или менее постоянных лавовых озер. Температура лавы в озерах чрезвычайно высока, и поэтому она способна расплавлять и растворять старую лаву и окружающие горные породы. Такое явление наблюдал Темпест Андерсон в лавовых озерах Килауэа (Гавайя) и Матавану (Самоа).

Явления обычного, небольшого по размерам, смешанного и взрывного типа вулканического извержения представляют большую часть современной вулканической деятельности. Рассматривая деятельность вулканов за большой промежуток времени, Скоп нашел, что они распадаются на три главных категории. Первая представляет вулканы почти в постоянной эруптивной фазе, лучшим примером которой является Стромболи. Другие примеры — Масайя и Атититлон в Никарагуа, Сангай в Эквадоре и Килауэа на о-ве Гавайя. Фактически Стромболи находится в непрерывном извержении со времен Гомера. Другие вулканы находятся в состоянии, которое может быть названо фазой умеренной или перемежающейся деятельности. Время от времени происходят извержения с паузами покоя, продолжающимися от месяцев до столетий. Долгое состояние покоя обычно кончается особенно сильным извержением. Везувий с 1631 г. и Этна находятся в этой фазе деятельности. Наконец есть вулканы, действующие пароксизмами. Их извержения отличаются опустошительной силой, но короткой продолжительностью и разделены длинными промежутками абсолютного спокойствия. Классиче-

ским примером извержения этой фазы (пароксизмами) является извержение Везувия за 79 лет до нашей эры. Лассен Пик (Калифорния) и Катман (Аляска), которые более полно рассмотрены в главе VI, представляют вулканы в пароксизмальной фазе.

Если, однако, мы ограничим наше рассмотрение явлениями, представленными только отдельными извержениями, то, принимая во внимание, что большинство центральных извержений смешанного типа включает в себе как излияния лавы, так и извержения обломочных продуктов взрыва, мы найдем несколько разных типов, изменяющихся в зависимости от отношения эффузивного и эксплозивного образов действия, природы двух родов выбросов и пунктов эруптивных центров. Мы рассмотрим явления лавового излияния и взрывов, каждое в отдельности.

Излияние лавы может происходить из главного фокуса, который имеет свой выход в кратере на вершине конуса; оно может произойти на склоне горы из трещин и из подчиненных выходов, которые находятся в связи с главной воронкой; или наконец лава может выливаться, но не через центральный выход, а находит новый и независимый канал (*эксцентрическое извержение*). Вершинные лавовые потоки могут просто вылиться на дне кратера, в особенности если кратер большой; могут перелиться через край кратера и течь по склонам конуса (*терминальные лавовые потоки*). Как общее правило, частота терминальных лавовых потоков изменяется обратно пропорционально высоте конуса, потому что энергия эруптивного

импульса расходуется на поднятие тяжелой лавы в воронке против направления силы тяжести. Однако существует несколько исключений из этого правила, особенно Котопахи (5942 м), из которого лава часто переливается через края кратера.

При боковом извержении лава поднимается по главному каналу, но обладает недостаточной энергией, чтобы достичь кратера, поэтому она находит себе путь через бокку или кратерное отверстие на более низком уровне. Этот вид извержения часто встречается на Везувии, как например извержения в 1872 и 1895 гг., но на вершинном кратере всегда происходят некоторые взрывы. Извержение Сакурашима (Япония) в 1914 г. было превосходным примером бокового извержения (рис. 6). Извержению предшествовало землетрясение и появление горячих источников. В 8 час. утра 12 января из южной вершины кратера поднялся столб белого дыма в виде обычной пинии. В 10 час. утра лава вырвалась наружу из вытянутых в линейный ряд кратеров, как на восточном, так и на западном склонах конуса, на высоте соответственно около 396 и 500 м, тогда как вершина имеет высоту 1134 м. Аналогично происходили повидимому более ранние извержения от 1468 до 1476 г. и в 1779 г.: большие потоки лавы вытекали из маленьких кратеров, расположенных на противоположных сторонах горы.

Эксцентрические извержения отличаются от боковых тем, что извержения происходят в полной независимости от главного кратера. Выходы находятся обычно на нижних склонах конуса, и лава видимо пользуется вспомогательными каналами.

которые либо должны ответвляться от главного канала на значительной глубине, либо образовать независимые выходы из магматического резервуара. Этна является классическим примером эксцентрических извержений (глава V). На ее

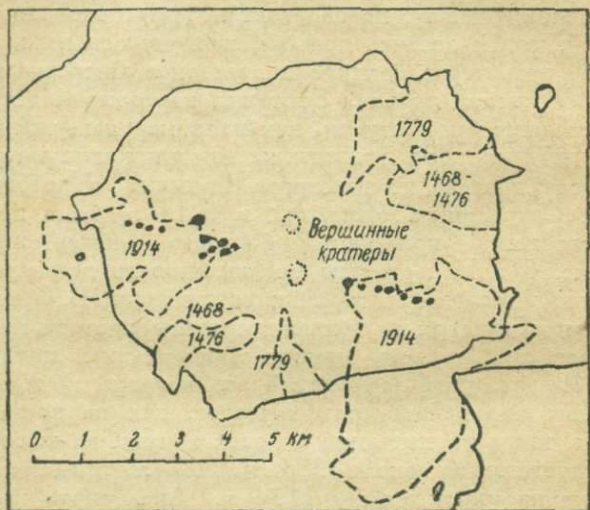


Рис. 6. Карта Сакурашима.

Лавовые потоки показаны пунктиром с датами извержения.

склонах находится больше чем 200 маленьких конусов и много трещин, из которых лава выливается с перерывами, самое последнее извержение было в ноябре 1928 г. Килауэа можно тоже рассматривать как непрерывно извергающийся эксцентрический фокус, расположенный на склоне

Мауна-Лоа, извержения которого совершенно не зависят от извержений его спутника.

Явления вулканических взрывов не менее разнообразны, чем вулканические лавовые излияния. Оба вида вулканической деятельности часто ассоциируются, действуя совместно или попеременно. Взрыв зависит более или менее от внезапного освобождения газов из лавы, и род взрывного процесса, который при этом происходит, зависит главным образом от вязкости лавы, когда она достигает поверхности, которая в свою очередь зависит от температуры и состава магмы. Природа обломочных выбросов, расплавленных, полутвердых или твердых, когда они выбрасываются в воздух, зависит от тех же факторов. На этих основаниях можно различать несколько типов взрывной деятельности, которые называются по имени отдельных вулканов или вулканических районов.

Гавайская эксплозионная (взрывная) деятельность представляет спокойный тип. Причиной этого является быстрое выделение газов с поверхности такого лавового озера, какое имеется на Килауэа, посредством фонтанов, которых насчитывалось в одно время до 300. Газовые ключи выбрасывали в воздух частицы расплавленной лавы, которые относились ветром и вытягивались в длинные стеклянные нити (волосы Пеле). Гавайский тип взрывов может происходить только в очень жидкой магме очень высокой температуры ($1200-1300^{\circ}$), в которой достигнуто термальное равновесие, т. е. теплоты здесь доставляется из вулканического очага столько, сколько те-

руется излучением на поверхности. До сих пор это наблюдалось только в базальтовых магмах и является характерным эруптивным явлением щитовых вулканов.

Когда температура лавы несколько ниже и непрерывность потока выделяющихся газов не сохраняется, то в результате происходит длительная продолжающаяся ритмически взрывная деятельность типа *Стромболи*. Газ накапливается в воронке и освобождается через правильные интервалы взрывами, потому что существующая температура лавы ниже ($1150—1200^{\circ}$), ее вязкость больше, чем в гавайской лаве, и она представляет большее сопротивление выделяющемуся газу. Описания Вашингтона и Дейя относительно *Стромболи* в 1915 г. очень мало отличаются от описания Джедда в 1874 г. Они видели в кратере пять активных выходов. Один из них взрывался через короткие неправильные интервалы подобно выстрелу из орудия большого калибра. Другой был в состоянии непрерывной деятельности с перемежающимися выбросами полу-расплавленных камней, с клубами белого дыма, редкими взрывами, но с непрерывным ревом. Третий был в сольфатарном состоянии и выделял лишь клубы белого дыма, тогда как четвертый иногда спокойно и медленно наполнялся желтым дымом. Пятый выход через промежутки от 20 до 40 минут испускал с громким, внезапным звуком, подобным паровому свистку гигантского локомотива, быстро поднимающийся высокий и узкий столб дыма.

Беспрерывная деятельность *Стромболи* и по-

добных вулканов, как например Изалько в Сальвадоре, хорошо отмечена в этом описании.

Стромболи считается предсказателем погоды у моряков Средиземного моря. Говорят, что извержения бывают чаще в плохую погоду, чем в хорошую. Предложенное для этого объяснение заключается в том, что во время хорошей погоды атмосферное давление высоко, и восходящему вулканическому газу надо преодолеть большее сопротивление, чем тогда, когда атмосферная депрессия вызывает низкое стояние барометра. Бержа, однако, считает, что факты не подтверждают эту зависимость между взрывами и погодой, и говорит, что слава о Стромболи, как о предсказателе погоды, вероятно обязана образованию его дыма, который представляет чувствительный гигроскоп и хороший флюгер.

Время от времени правильный ритм извержения Стромболи прерывается несколько более сильными взрывами. У других вулканов, особенно на Везувии, длинные периоды слабой деятельности или даже спокойствия прерываются пароксизмами сильных взрывов и излияний лавы. Выброшенный материал состоит отчасти из новой лавы, отчасти из обломков старых затвердевших лав. Температура извержения может быть несколько ниже, чем при деятельности типа Стромболи, но она меняется в зависимости от рода магмы внутри воронки. В извержении такого рода, которое может быть названо типом Везувия, устье действующего канала закупоривается обломками от обрушения кратера в промежутки слабой деятельности и покоя, и газы, вызывающие взрыв,

медленно накапливают напряжение, пока они не прорываются через преграду с ужасной силой. Более подробное описание извержения Везувия дано в главе V.

Извержения самого Вулкано показывают особые характерные черты, которыми они отличаются от типа Везувия. Лава является настолько вязкой, что в соприкосновении с атмосферой она очень быстро покрывается в кратере как бы толстым покровом застывшей породы, которая снова никогда не достигает опять своей точки плавления. В результате получается полное спокойствие между извержениями. В эти интервалы магматические газы собирают энергию и наконец взрываются, разрывая пробку с колоссальной силой и поднимая черное облако, состоящее из частиц твердой лавы. Бомбы типа хлебной корки (стр. 53) характеризуют этот вид извержения. Несмотря на свою нагруженность твердым веществом, облако имеет стремление подниматься, что составляет заметное различие с очень похожими в других отношениях извержениями типа Пеле, которые описаны ниже. Температура извержения должна быть около 1100° . Комбинацией особенностей извержений типа Вулкано, таким образом, является вязкая магма и высокое содержание газа, которые дают в результате большое развитие взрывов.

Почти одновременные и губительные извержения Мон-Пеле на Мартинике и Ла-Суфриер в Сен Винсен в 1902 г. открыли вулканологам новый и особенный вид извержения, который, тем не менее, тесно связан с типом Вулкано. Здесь

опять мы имеем чрезвычайно вязкие магмы с высокой взрывчатостью. Характерной чертой этих вест-индских извержений были перемежающиеся выбросы раскаленных добела облаков, состоящих из эмульсии раскаленного газа и твердых частиц, которые, вместо того чтобы подняться в воздух, были направлены вниз и, увеличивая свою движущую силу на склонах вулкана, распространяли опустошение и смерть на окружающей местности. 8 мая раскаленное облако такого рода смело Сен-Пьер, главный город Мартиники. Дома были сравнены с землей и сожжены в один момент, и 30 000 жителей были вычеркнуты из жизни. Подобное облако было причиной смерти около 1100 человек в Сен-Винсен. Тесно связанным с выделением таких смертоносных нисходящих облаков из Мон-Пеле было медленное поднятие своеобразной иглы или обелиска только что застывшей лавы, который в конце концов достиг высоты более 200 м над кратером. Этот обелиск представлял пробку вулканического выхода, выдвинутую давлением изнутри, причем через некоторые промежутки времени газы взрывами освобождались из боковых трещин. Обелиск был разрушен интенсивным тропическим выветриванием в несколько месяцев. В пелейском типе извержений температура повидимому около 1100° на месте выбросов (Лакруа). В 5,5 км от кратера температура облака уменьшалась до $210-230^{\circ}$, вследствие расширения сильно сжатых газов.

Как в вулканическом, так и в пелейском видах извержений бывает незначительное или совсем не бывает настоящего излияния лавы, и эти типы

постепенно переходят в тип характерный главным образом взрывами пара колоссальной силы, происходящими после длинных периодов абсолютного спокойствия и без излияния лавы. Извержения этого типа, которые обычно бывают во время периода упадка деятельности вулкана, называются плиннианскими, в честь большого извержения Везувия за 79 лет до нашей эры, так хорошо описанного Плинием. Так как новая лава не появляется, то выброшенные продукты состоят всецело из обломков старой лавы и окружающих горных пород (родственных и случайных выбросов). Температура извержения должна быть ниже точки плавления лавы, которую можно было ожидать от вулкана. Самые большие вулканические события исторического периода принадлежат к этому типу, и два самых поучительных примера описаны и разобраны в главе VI.

Громаднейшее вулканическое извержение новых времен произошло на острове Кракатау в Зундском проливе 26 августа 1883 г. Кракатау и некоторые соседние острова образовывали тогда кольцо, которое представляло остатки краев большого кратера шириной в 13 км, обязанное своим происхождением какой-то доисторической катастрофе. 20 мая 1883 г. был слышен шум на расстоянии 228 км, и из кратера поднимались пары. 26 августа наступила везувианская стадия, с сильными взрывами каждые десять минут. Кульминационным пунктом были четыре колоссальных взрыва, которыми была снесена большая часть острова и во время которых под водой образовалась глубокая впадина (рис. 7). Количество

материала, потерянного Кракатау, составляло 18.7 км³.

Взрыв Кракатау в 1883 г. был замечательным даже по одним только необыкновенным вторичным эффектам, которые он произвел: воздушные волны, звуковые волны и волны морские. На расстоянии 228 км — в Батавии — стены давали трещины и окна лопались. Ужасное атмосферное сотрясение прошло трижды вокруг земли прежде чем рассеялось. Около шести с половиной кубических кило-



Рис. 7. Очертания Кракатау.

Пунктир — до извержения 1883 г.; сплошная линия — после извержения.

метров тонкого пепла было выброшено в воздух; большая часть его оставалась в верхней части атмосферы в течение нескольких месяцев, и это было причиной удивительных закатов солнца, которые замечались в 1883 и следующих годах. Море вблизи вулкана волновалось так, что волна поднялась на 31 м в высоту и разрушила несколько городов и деревень, причем погибло 36 000 жителей. Сильно чувствовалось волнение в Адене за 6250 км и на расстоянии 7500 км в порте Елизаветы. Возобновление деятельности Кракатау в 1928 г. дало многочисленные подводные взрывы и струи пара, которые поднимались с поверхности моря.

В 1772 г. Папандаянг (Ява) уменьшился в вы-

соте на 1220 м вследствие большого плинианского извержения, и в 1815 г. Тамборо, вулкан на острове Сумбава в Ост-Индии, на котором по наблюдению, вероятно, произошел один из величайших взрывов, потерял в высоту около 1250 м, образуя кратер около 11 км в диаметре. Количество выброшенного материала составляло не меньше 150 км³. В 1888 г. Бандай-сан (Япония), покоившийся в течение тысячи лет, снес свою вершину и одну сторону во время извержения, которое продолжалось только два часа, потеряв около 1,17 км³ материала, который беспорядочно загромоздил свыше 70 км² местности. Японский жрец, живший на опустошенной стороне конуса, как-то пережил извержение и дал о нем сведения очевидца.

После того как всякая сильная взрывная деятельность прекращается, вулканы еще продолжают выделять пары и другие газы в течение долгого периода времени. Подобные выделения также происходят между эруптивными пароксизмами и могут локализоваться в кратере, на склонах или у подножия конуса. Потоки лав тоже выделяют газы в течение долгого времени после того, как их корка затвердеет. Эта *сульфатарная* стадия сравнительно спокойного освобождения газов, названная так по имени кратера Сульфатара близ Неаполя, является в высокой степени характерной чертой приходящего в упадок или умирающего периода вулканической деятельности, хотя пары и другие газы, часто при высоких температурах, выделяются в достаточных количествах во всех стадиях вулканического цикла.

Природа вулканических газов была описана в главе II. Пар находится всегда в значительном преобладании. Фокусы выделения называются *фумаролами* и *сульфатарами*. Последнее название иногда сохраняется для выделений, в которых преобладают сера и соединения серы, как например в самом кратере Сульфатара. Однако теперь преобладает тенденция употреблять название *фумарола* для высоко-температурных выделений газа и название *сульфатара* для выделений сравнительно низкой температуры. В фумаролах температура может изменяться от 1000 до 200°. Всунутая в перегретый пар некоторых из фумарол Катмай (Аляска) палка может загореться. В сульфатарах температура меняется от 200 до 100°, и они переходят в кипящие источники и гейзеры на более низкой границе. При еще более слабой деятельности вулканические выделения могут состоять почти целиком из углекислоты. Такие газовые источники называются *мофеттами*. Они встречаются в старых вулканических районах, так например в Эйфеле (Германия), где окружают кратерное озеро, известное под названием Лаахерского озера; там существуют многочисленные мофетты, около которых часто находят мертвых насекомых и даже птиц и мышей. Углекислота выходит пузырьками со дна самого озера, и в тихую погоду опасно купаться и плавать на лодке. В районе Эйфеля находятся несколько сотен источников, воды которых насыщены углекислотой. Легенда о ядовитом дереве юпас (анчар) происходит от мофетт в знаменитой долине Смерти на Яве, где иногда находили задохнувшихся тигров и носорогов, и заме-

чены были даже человеческие скелеты. Многозначительное название ущелья Смерти было дано другому району мофетт в Аризоне.

Около середины прошлого столетия Сен-Клер-Девилль заметил, что состав газовых выделений из вулкана следует определенному порядку в пространстве и времени. Предполагалось, что выделения из раскаленной лавы в вулканической воронке состоят главным образом из паров хлористого натра. Дальше от вулканического центра газы состоят из паров хлористо-водородной кислоты и сернистого газа, затем главным образом из углекислоты и наконец одного водяного пара в более отдаленных выходах. Подобные же изменения содержания газа наблюдаются в каждом определенном пункте, по мере того как извержение замирает. Так как температура выделения уменьшается с расстоянием от эруптивного центра постепенно, то Деви́ль думал, что природа газов зависит главным образом от температуры. Однако недавно из опубликованных сведений и из непосредственных данных, собранных из Катмаи, Аллен заключил, что «законы» Деви́лля не имеют общего значения, хотя они могут выдерживаться в отдельных вулканах. Как мы видели (глава !), газовые смеси, выделяющиеся во время вулканической деятельности, имеют очень сложный состав и встречаются такие разнообразные условия во время их прохождения из магмы в атмосферу, что широкого распространения закономерности, формулированной Деви́ллем, едва ли можно ожидать.

Источник газов, выделяемых фумаролами, находится конечно в магме, занимающей вулканичес-

скую воронку или инъецированной в виде тел, находящихся на значительной глубине (стр. 184). Таким образом, должно освободиться в виде пара колоссальное количество воды. В недавнем подсчете Цис оценивает количество пара, выделенного из фумарол долины Десяти тысяч дымов, в 26 миллионов литров в секунду, и хотя хлористый водород и фтористый водород находятся сравнительно в незначительном количестве (0,17% HCl; 0,032% HF), однако в этом одном небольшом районе ежегодно получается 1 250 000 т хлористого водорода и 200 000 т фтористого водорода. Это количество такого порядка, что оно может вполне подтвердить заключение, что причиной избытка хлора, характерно отличающего воду океана от речной, являются вулканические эффузии. Цис также вычислил, что все содержание фтора в океанах могло бы быть доставлено площадью меньшей, чем долина Десяти тысяч дымов, в восемь миллионов лет.

Наиболее характерные и показательные явления конечных стадий вулканической деятельности представляют горячие источники и извергающиеся ключи, известные под названием гейзеров. Название гейзер происходит от имени исландского района Гейзир, где впервые наблюдались и были описаны извергающиеся (эруптивные) источники. В Исландии находятся все переходные виды источников, начиная от ключей просто горячей воды, через закипающие или спокойно кипящие лужи до спазматически взрывающихся гейзеров. В Лаугарватне автор наблюдал источник, в котором, приняв некоторые предосторожности, можно было каждые

Пол-минуты видеть огромные пузыри пара, поднимающиеся в трубке и посылающие в воздух вздутие метра в 2 из смеси пара и воды. Большой гейзер в Исландии действовал всегда несколько неправильно. Он извергался в среднем раз в 20—30 часов, но были длинные перерывы, и с 1918 г. он совершенно прекратил деятельность. Г. Мекензи в 1810 г. оценивал высоту его водяного столба около 28 м. Гейзер поменьше, расположенный около него, мог быть приведен в действие прибавлением мыла, нарезанного тонкими стружками и брошенного в трубку. Действие мыла заключалось вероятно в понижении поверхностного натяжения воды, давая брызгам её возможность более легко перейти в пар при данной температуре. Самый правильный гейзер в мире — это Олд Файтфул в Йеллоустонском национальном парке, который, как указывают, бьет через каждые 63 минуты.

Воды горячих источников и гейзеров часто содержат в растворе вещества, которые отлагаются вокруг отверстия источника, сооружая любопытно очерченные устья. Если источники располагаются на прерывистом склоне, отложения создают террасообразные массы, как например в Йеллоустонском парке. Самым обычным веществом, отложенным таким образом, является кремнезем особенного аморфного, опалового характера, который называется кремнистой накипью. Она большею частью беловатая, но может быть окрашена пятнами красными, розоватыми, бурыми или желтыми. Прекрасные розовые террасы Ротомогана в Новой Зеландии были разрушены в 1886 г. извержением вулкана Таравера. Механизм действия гейзера об-

суждался часто. Одна из первых теорий была выдвинута Г. Мекензи, который полагал, что трубка гейзера сообщается с подземной полостью, которая только частично наполнена водой (рис. 8). Давление паров в полости в конце концов увеличивается настолько, что оно превосходит противодействующее ему давление столба воды, и тогда вся масса выбрасывается в воздух. Затем трубка

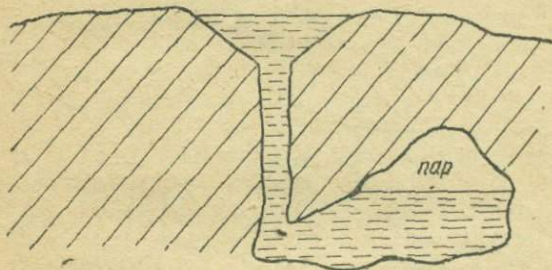


Рис. 8. Механизм действия гейзера согласно Мекензи.

и полость постепенно вновь наполняются водой, которая просачивается из горных пород, и весь процесс снова повторяется. Хотя эта теория конечно содержит ядро истины, она однако не объясняет силы и периодичности извержения гейзера. Она является вероятно правильным объяснением для некоторых спокойно переливающихся кипящих источников.

Бунзен и Деклуазо в 1846 г. произвели измерения температуры в Большом гейзере в Исландии и нашли, что температура воды в трубке быстро увеличивается с глубиной, но что нигде она не

высока настолько, чтобы вызвать образование пара при действующем там давлении. Однако слабый подъем водяного столба, вызванный может быть тем, что в системе появлялся большой пузырь пара, может уменьшить давление до такого размера, что перегретая вода перейдет в пар. Теория Бунзена все-таки открыта для тех же возражений, как и теория Мекензи.

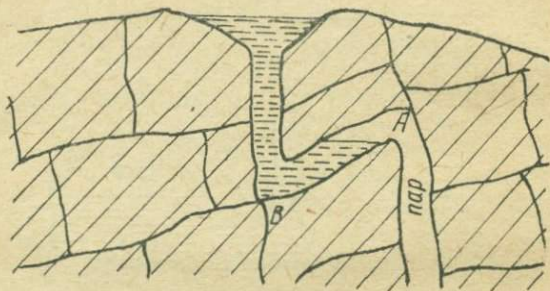


Рис. 9. Современное объяснение действия гейзера.

Бунзен предполагал, что трубка цилиндрическая и правильная, но на самом деле размер очертания и направления ее должны быть неправильными. Поэтому современное объяснение действия гейзера исходит из существования неправильной трещины, как это показано на рис. 9, имеющей сообщение с резервуаром, в котором образуется пар, как допускал Мекензи 120 лет тому назад.

По мере того как давление пара увеличивается, вода постепенно проталкивается через углы *A* и *B*,

но вследствие того, что трубка имеет форму сифона, взрыв не произойдет, пока пар действительно не войдет в вертикальную трубку и не вытолкнет некоторое количество воды. При этом уменьшенное давление является причиной быстрого превращения остающейся воды в пар. Система трубок и трещин вновь наполняется затем главным образом метеорной водой, и весь процесс повторяется спустя некоторый промежуток времени в зависимости от подачи тепла, притока воды и давления водяного столба. Так как действие гейзера таким образом зависит от точного баланса между притоком воды, давлением и возрастанием температуры, т. е. от величин весьма непостоянных, то не удивительно, что явление это недолговечно и проявляется неправильно.

Конечный источник тепла надо видеть в интрузии изверженной массы на небольшой глубине под поверхностью. Воде, поднимающейся из горячих источников и гейзеров, приписывают главным образом метеорное происхождение. Количество ее несколько увеличивается, и она нагревается благодаря магматическому пару. Сосман подсчитал, что интрузия в 1 км мощностью магмы, содержащей 5% воды, может дать по одной фумароле или горячему источнику с притоком пара равным 20 л в минуту на каждые 10 км² поверхности над этой интрузией, и что такой приток может продолжаться миллион лет. Если эта магматическая вода смешивается с 9 частями метеорной воды, т. е. в отношениях, которые, как предполагают, существуют между этими двумя источниками, то каждая фумарола может давать 200 л в минуту, что состав-

ляет в грубых цифрах половину дебита горячих источников Арканзаса.

Грязевые вулканы или кипящие грязевые лужи встречаются во всех районах горячих источников, и они обязаны своим происхождением выделению пара через рыхлую породу, которая может быть разложена кислыми газами, приносимыми паром. Они представляют просто грязные горячие источники. Благодаря окислению железа и образованию серных солей грязевые лужи могут быть яркого охристого, красного, зеленого или сероватого оттенков, и в таком случае они образно называются *чортовыми красильными горшками*.

Глава IV

ЩИТОВЫЕ ВУЛКАНЫ ГАВАЙИ И ИСЛАНДИИ

Теперь мы приступаем к детальному изучению некоторых видов вулканической деятельности на примерах типичных вулканов. В этой главе мы будем иметь дело с большими лавовыми извержениями, которые создали щитовые вулканы Гавайи и Исландии. Мы не можем описать действительных явлений трещинного извержения в большом масштабе, так как это происходило в геологическом прошлом; об этих явлениях можно судить, насколько это возможно, только по следам таких извержений, по картине прошлого, обнаруженной в геологическом строении. Относительно малые и слабые трещинные извержения теперешнего времени являются вероятно, как будет показано впоследствии, подчиненными явлениями, которые

встречаются вместе с извержениями щитовых вулканов и другими типами центральных вулканов.

Долго думали, что Этна и Везувий представляют единственные типы вулканической деятельности. Теперь известно однако, что совершенно отличающиеся от них виды извержения, создающие огромные вулканические нагромождения, встречаются в Гавайе и на других островах Тихого океана и в Исландии. Эти извержения отличаются от везувианского типа необыкновенно большим объемом и текучестью лав и относительной однородностью их состава, лавовыми озерами и фонтанами, незначительным числом сильных взрывов и обломочных продуктов, большими размерами и пологими склонами образованных конусов.

Существенные черты щитовых вулканов проявляются в совершенстве в больших центрах Мауна-Лоа и Килауэа в Гавайе. Гавайя является самым большим крайним юго-западным островом группы Сандвичевых островов, которые образуют слегка изогнутую линию островов в направлении ЗСЗ, простирающихся на расстоянии 650 км на севере центральной части Тихого океана. Каждый из этих островов состоит из остатков одного или больше щитовых вулканов, давно потухших, за исключением Гавайи (рис. 10). Пять вулканов составляют Гавайю, именно Кохала, Мауна-Кэа, Хуалалаи, Мауна-Лоа и Килауэа, но только три последних действовали в исторические времена. Мауна-Лоа — самый большой вулкан, с которым не может сравниться ни один другой в мире. Он поднимается на 4166 м над уровнем моря, его склоны опускаются до дна океана, глубина которого вблизи

вулкана около 4600 м, и так как вулкан поднимается несомненно с этого уровня, то его действительная высота приближается к высоте г. Эвереста, самой высокой горы земного шара. Большой и меньший диаметры эллиптического основания Мауна-Лоа, поднимающегося со дна океана, оце-

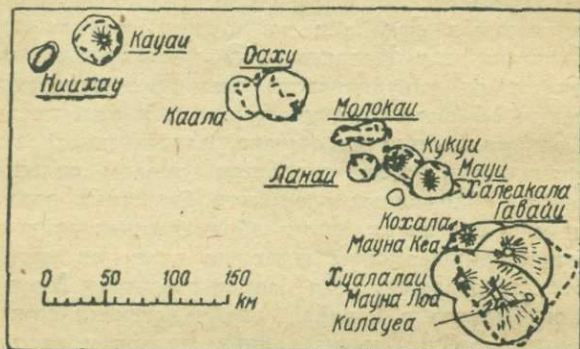


Рис. 10. Карта гавайских вулканов.

Сплошные линии обозначают вулканы, пунктирные — острова. Названия островов подчеркнуты; названия вулканов — не подчеркнуты.

ниваются соответственно 120 и 85 км. Следовательно его действительные размеры значительно превосходят даже размеры г. Эверест.

Мауна-Лоа увенчан большим кратером или кальдерой эллиптического очертания, называемой Мокуавеовео, диаметром 5,6 км на 2,8 км и глубиной, по измерению в 1888 г., 107 м. Его огромный сосед Мауна-Кэа, который, благодаря многочисленным шлаковым конусам на его платообразной вершине, поднимается, несколько выше

чем Мауна-Лоа, не имеет главного вершинного кратера и кажется потухшим. Кохала, давно потухший вулкан, создал самую северную часть острова и частично погребен под лавами Мауна-Кэа. Хуалалаи, к западу от Мауна-Лоа, извергался очень рано в девятнадцатом веке и с тех пор находится в состоянии покоя. Килауэа может считаться как спутник (сопровождающий вулкан) на склонах Мауна-Лоа. Он образует низкий купол на юго-восточной стороне Мауна-Лоа и обладает мелким кратером с лавовым дном около 5 км в диаметре. Знаменитое сравнительно легко доступное лавовое озеро Гале-Мау-мау, название которого, как говорят, значит «Дом вечного огня», появляется время от времени в юго-западном углу этого кратера.

Кратеры щитовых вулканов не являются воронкообразными, как это имеет место в везувианских вулканах, а представляют обширные круглые или эллипсоидальные ямы или впадины, боковые стены которых вертикальны или почти вертикальны и иногда прерываются узкими террасами. Они обязаны своим происхождением дугообразным обрушениям вследствие подработки кратера жидкой лавой во время извержения и оседания дна кратера после извержения. Воронкообразные кратеры небольших вулканов представляют характерные формы, образующиеся при взрывах, которые наоборот являются подчиненными излиянию лавы в щитовых вулканах и поэтому не влияют серьезным образом на очертания кратера.

Внутри таких гавайских кратеров опускания лава поднимается до поверхности и образует одно

или больше лавовых озер, которые, несмотря на то, что они могут частично наполнять кратер во время извержения, никогда не переливаются через край. Большие лавовые потоки всегда начинаются из пунктов, расположенных на некотором расстоянии от кратера, внизу склонов конуса. Это происходит вероятно потому, что вулканы Сандвичевых островов достигли уже наибольших высот, которых могут достигать такие образования. Энергия эруптивного импульса повидимому только достаточна для того, чтобы поднять тяжелую лаву на высоту около 3800 м над поверхностью земли. Поэтому выше этого вулкан вырасти не может, и дальше извержение происходит через склоны конуса, увеличивая его объем и нарушая правильность формы.

Мауна-Лоа отлично иллюстрирует эти факты и принципы, хотя по понятным причинам самые явления извержения никогда не могут быть точно изучены. Вулкан был под наблюдением с 1832 г., и его жизнь превосходно зарегистрирована. Извержения часто возвещались появлением столба света на вершине горы, происходящего вследствие начала деятельности в одном из лавовых озер кратера или вследствие излияния лавы из его склонов. Большие лавовые потоки были в 1843 г., в 1851 г. ($0,115 \text{ км}^3$), в 1852 г. ($0,154 \text{ км}^3$), в 1855 г. ($0,230 \text{ км}^3$), в 1859 г. ($0,138 \text{ км}^3$), в 1868 г. ($0,080 \text{ км}^3$), в 1887, в 1899 и в 1907 гг. ($0,080 \text{ км}^3$), в 1916, 1919—1920 и 1926 гг., в каждом случае из выходов и трещин, открывающихся в пунктах на склонах ниже края кратера.

Полное извержение Мауна-Лоа происходит в следующей последовательности: начинается оно предварительным взрывом в вершинном кратере, за ним следует через промежуток в несколько месяцев или может быть лет истечение лавы из боковых трещин. Интервал между соответственными фазами последовательных извержений в последнее время в среднем около 9 лет.

Лавовые извержения Мауна-Лоа являются замечательными и почти единственными в своем роде благодаря своим большим расплавленным фонтанам, которые бьют у пунктов выхода лав или внутри кратера, благодаря большой подвижности и скорости лавовых потоков и их огромному объему. Все эти явления свидетельствуют об очень высокой температуре, в результате чего получается крайне жидкая лава. Много раз были зарегистрированы фонтаны вышиной в сотни метров, и в одном или в двух случаях их струи раскаленной добела расплавленной горной породы достигали высоты около 1000 м над своими выходами. Лавы текли по склонам горы с быстротой, равной быстроте речного потока, и иногда они смещали реки из их русел и образовывали лавопавы вместо водопадов. Сильный ветер раздувал брызги от фонтанов, которые превращались в стеклянные ити, известные под названием *волос Пеле*, которые иногда густо падали на улицах Хило.

Цитатами из книги Дана «Characteristics of Volcanoes with Contribution of Facts and Principles from the Hawaiian Islands» (1890) можно воспользоваться для того, чтобы подчеркнуть единственный в своем роде характер лавовых фон-

танов Мауна-Лоа. Он сам ссылается на очевидца Кинни, который говорит, рассказывая о фонтанах (оценивая высоту их 120—240 м) у начала большого потока 1852 г.: «Его глубокий сверхъестественный рев, который мы начали слышать за день раньше, становился громче и громче, по мере того как мы приближались к месту действия, пока этот рев не стал похожим на рев валов океана, когда они несутся ураганом на скалистый берег, или подобно оглушительному реву Ниагары». Он сообщал также, что жара создавала ужасающие смерчи, которые гордо двигались вокруг, подобно часовым, бросая вызов дерзкому посетителю.

В этой же книге сообщается, что очевидец извержения 1859 г. проф. Хаскел указывает, что вытекающие лавы были раскалены добела и, по видимому, жидки как вода. Его сообщение дальше отмечает, что поток лавы стремительно ниспадал по водопадам и порогам с такой скоростью, что глаз с трудом мог следить за ним. На протяжении 13—16 км образовался ряд водопадов и стремнин. Лава текла подвижнее, чем вода, и с большей скоростью, следуя изгибам поверхности, поднимаясь на ее подъемах и круто поворачиваясь, с более высокими внешними краями потока чем внутренняя часть с ее значительной подвижностью.

Эти извержения являются единственными в своем роде по огромному объему и высокой температуре лав, по необыкновенной энергии, которая может производить фонтаны в 300 м высотой после того, как тяжелая лава поднята на 3000—4000 м над уровнем моря.

Явления на Килауэа, хотя сами по себе и про-

изводят очень большое впечатление, но не принадлежат по значительности и интенсивности к такому классу, как явления Мауна-Лоа; и объяснения деятельности Килауэа, которых мы теперь достигли, не достаточны для того, чтобы объяснять полностью гораздо большие явления на Мауна-Лоа. Действительно Килауэа может быть обязан своим происхождением только деятельности небольшой, частично прорвавшейся подземной инъекции от Мауна-Лоа.

Килауэа является более доступным для изучения, чем Мауна-Лоа; и благодаря трудам ряда исследователей, особенно трудам проф. Джаггара и его сотрудников в Вулканологической обсерватории, мы теперь имеем более ясное представление о механизме извержения Килауэа, хотя заключения еще далеки от того, чтобы достигнуть окончательного решения. Килауэа повидимому представляет второстепенный вулкан, возвышающийся на юго-восточном склоне Мауна-Лоа. Его низкий, едва заметный купол образует только волнистость на склоне большого вулкана, поднимаясь над уровнем моря всего на 1230 м. На его плоской вершине прежде был двойной кратер, состоящий из двух обрывистых кратеров опускания, из которых нижний, поменьше, находится внутри наружного и более обширного. «Black Ledge» (Черный выступ), который указывают ранние наблюдатели, представлял кольцообразную платформу между двумя кратерными ямами. Это простое строение изменялось время от времени вследствие оседания стен во время и после извержения, вследствие заливания лавой кратерного дна и Черного

выступа, а также благодаря замечательным подня-
тиям и опусканиям дна нижней ямы кратера, при
которых уровень Черного выступа был наконец до-
стигнут лавой в 1868 г. и внутренний кратер
исчез. Лавовое озеро в юго-западном углу имело
свою историю. Иногда оно покрывалось коркой,
иногда лава опускалась и исчезала, и однажды,
в 1924 г., озеро было совершенно очищено взры-
вом.

Научное наблюдение над Килауэа производится
с 1823 г., но известная его история начинается
с огромного извержения, сопровождавшегося взры-
вом в 1789 г., которое по преданию туземцев
стоило восьмидесяти жертв. Пенк считает, что
это извержение отмечает начало вулкана, со вре-
мени которого туф образовал внешний остов ку-
пола и никогда не заливался лавой. В 1822 г.
в кратере вылился лавовый поток, а в 1823 г.
появился гораздо больший поток с сильной дея-
тельностью фонтанов, причем уровень лавового
озера, а также дно кратера поднимались и опуска-
лись. Большие извержения подобного характера
происходили в 1832, в 1840 и в 1868 гг. Мень-
шие извержения происходили в 1849, в 1855,
в 1879, в 1886 гг. В 1894 г. лава исчезла и
вулкан оставался почти в состоянии покоя до
1907 г., когда он возобновил снова постоянную
деятельность с образованием лавового озера. Ис-
чезновение лавы в 1924 г. завершилось мощным
взрывом, и с того времени деятельность была сла-
бой.

Наиболее важным и замечательным явлением
на Килауэа является лавовое озеро, и мы теперь

займемся его проявлениями несколько подробнее. В его опорожненном состоянии в июле 1928 г. яма (кратер) Гале-Мау-мау имеет слегка эллиптическое очертание с диаметрами в 1040 и 910 м. Площадь обнаруживающегося лавового дна с его конусами разбрызгивания около 7,7 га и расположена на 356 м ниже края кратера. Крутые осыпи, скрывающие его стенки, занимают в горизонтальной проекции площадь равную 35,2 га, так что общая площадь кратера 75,6 га. В периоды деятельности кратерная яма наполняется лавой. Период с 1823 г., когда она впервые наблюдалась, до 1894 г. был таким периодом деятельности только с небольшими и короткими перерывами, в продолжение которого широкий внутренний кратер Килауэа (стр. 95) не только наполнялся, но на его месте поднимался низкий пологий конус.

В то время как лава продолжала появляться случайно на короткие периоды, на дне кратера непрерывно действующее состояние лавового озера не возобновлялось до 1907 г. 1 мая 1913 г. лава, которая постепенно опускалась, опять исчезла, но затем возобновила в течение года свою деятельность в виде лавового озера. 5 июня 1916 г. лава опустилась на 120 м в течение дня и примерно на 900 м дальше в следующий день. В продолжение следующих лет чередующиеся поднимание и опускание лавовой колонны происходили несколько раз. Сильная деятельность была в продолжение 1919 и 1920 гг.; когда в 1921 г. лава хлынула и вылилась, это произвело сильное впечатление. Затем с перерывами началось медленное опускание лавы, завершившееся в 1924 г. пол-

ным ее исчезновением. В мае 1924 г. были сильные взрывы, но с тех пор до настоящего времени (1928 г.) деятельность ограничивалась дном кратера Гале-Мау-мау.

Общий вид лавового озера был картинно описан Ф. Перре, и в своем описании мы будем по возможности пользоваться его словами. Стоя на краю Гале-Мау-мау, наблюдатель смотреть вниз в кратер опускания с его характерными вертикальными слоистыми стенами, причем если лава опускается, «Черный выступ», отмечающий прежний уровень лавовой колонны, образует уступ на некотором расстоянии ниже края. Если лава поднимается, тогда дно кратера простирается, как более или менее ровная поверхность, прямо до стен кратерной ямы. В нормальном состоянии деятельности дно кратера состоит из центральной жидкой части — лавового озера — и окружающего «берега» из затвердевшей лавы, которая нарастает вертикально вследствие переливания из озера, по мере того как растет колонна лавы. Жидкая часть удерживается на более высоком уровне, чем окружающая твердая поверхность, благодаря предварительно поднятому краю, который образуется увеличением постоянно волнующейся во время колебательных движений жидкости и разбрызгиванием фонтанов.

Во время ненормальной деятельности затвердевший материал может быть снова расплавлен, и лавовое озеро может распространиться до краев кратерной ямы. Поверхность может покрыться фонтанами. Дей и Шеперд дают изображение озера 8 июля 1912 г. с числом фонтанов более

1100. В расплавленной жидкости появляются, растут, опрокидываются, уменьшаются и исчезают лавовые пласты и острова из твердого материала. Лава непрерывно волнуется и течет, поднимаясь в места, из которых она опускается, и часто видно, как она выходит из пещер в берегах, где она раскалена до яркого свечения; но по мере того, как она движется отсюда в открытое озеро, на ее поверхности образуется отливающая разными цветами пленка; подобно пленке на окисляющейся поверхности расплавленного металла. Эта корка разрывается расходящимися токами жидкости, и яркие раскаленные линии появляются по трещинам.

Без сомнения фонтаны обязаны своим происхождением поднятию ювенильных газов из магматических источников. Непосредственным наблюдением Перрэ мог доказать над каждым фонтаном большие и маленькие струи горючего газа, как из сопл. Дели рассматривает фонтаны, как результат восходящих токов богатой газами магмы (эмульсии газа и расплавленной лавы), причем особенная подвижность лавы зависит, как указывает Перрэ, от того, что она приобретает таким образом некоторые свойства пены. Положение некоторых более крупных фонтанов остается примерно постоянным; так один из них, известный под названием Old Faithful, занимающий округлую площадь около 20 м в диаметре, с 1909 г. извергался примерно через каждые 35 секунд в течение ряда лет. На этой площади поверхность лавы сначала волнуется, затем поднимается красивый купол жидкой лавы яркооранжево-желтого цвета при ясном

солнечном свете, взрывающийся кверху дождем огненных капель или вскипающий в виде купола на несколько мгновений и затем опадающий в озеро. Когда охлажденная лава опускается, вокруг фонтана может образоваться пустое место, в которое стекает лава из всех частей озера, принимая таким образом участие в общем круговороте. Дели считает, что эти фонтаны происходят выталкиванием превращенной в эмульсию части лавы, наподобие выпрыгивания вверх деревянного чурбака, опущенного на дно озера. Перрэ, наоборот, придерживается того мнения, что фонтаны вызываются подъемом и расширением больших пузырей газа в чрезвычайно подвижной лаве. Какое бы из объяснений ни принимать, истина имеется вероятно в обоих выдвинутых взглядах — фонтанами выделяется огромное количество газов; и как указывает Перрэ, выделение газа при этом происходит постоянно и бесперебойно все время со всей поверхности озера.

Температура лавового озера подвергается некоторым необыкновенным изменениям. В июле 1911 г. температура поверхности была измерена Перрэ при помощи электрической термопары и оказалась равной 1050°C . В следующем году Дей и Шеперд нашли, что температура поверхности 13 июня была 1070°C , но 6 июля она была 1185°C . Так как масса лавы, содержащейся в бассейне, была тогда очень значительна и оставалась приблизительно постоянной в течение этого промежутка, подъем ее температуры с 1070 до 1185°C за время в 23 дня должен быть вызван очень значительным и быстрым притоком тепла

из некоторого находящегося в глубине источника, иного чем новая лава. Наблюдение над деятельностью фонтанов установило тот факт, что имеется причинная зависимость между температурой поверхности и количеством выделившегося газа, так как, когда фонтаны были наиболее многочисленны и активны, температура была самой высокой. Таким образом поднимающиеся газы как-то содействуют поддержанию тепла. Но наиболее поразительное наблюдение температуры было сделано Джаггаром в 1917 г., а именно, вопреки установившемуся взгляду, температура была самой высокой на поверхности озера и падала до глубины по крайней мере 7 м. Он пользовался прочной железной трубкой, внутри которой были укреплены зейгеровские конусы на правильных расстояниях, и погружал ее в лаву насколько было возможно. Оказалось, что температура на глубине несколько различна, но ниже на 100° или больше, чем на поверхности. Дей показал, что этот результат может получиться вследствие природы газов, выделяющихся из озера (стр. 32). Эти газы настолько разнообразны и в химическом отношении не совместимы один с другим, что между ними должны происходить во время их подъема, особенно на поверхности, где они приходят в соприкосновение с кислородом атмосферы, реакции с образованием тепла. Этот взгляд нашел подтверждение в наблюдениях Перрэ над горением газов из фонтанов Гале-Мау-мау.

Существование и поведение островов в расплавленном озере также служит доказательством изменений температуры и колебаний в притоке и

потере газов. Наблюдение над температурой приводит к рассмотрению физических условий нахождения лавы на глубине внутри трубообразного канала. Раньше считалось, что здесь имеется правильный цилиндрический канал, идущий вниз к источнику приносимого материала и заполненный жидкой лавой. Еще более ранние взгляды относительно природы каналов, через которые лава поднимается на поверхность, нашли свое отражение в фантастическом романе Жюль Верна «Путешествие к центру земли», в котором путешественники спускаются в кратер Спэффель в Исландии, путешествуют по запутанным проходам на глубине нескольких километров и наконец выбрасываются из кратера Стромболи в Средиземном море, будучи вынесены на деревянном плоту, плавающем на вершине колонны поднимающейся лавы.

Когда уровень озера опускался, временами можно было видеть блюдцеобразную площадку из более или менее затвердевшей лавы, образованную накоплением погрузившихся плоских глыб островов и изрешетенную отверстиями, через которые была видна расплавленная лава. Таким образом видимая на самом дне жидкая часть озера представлялась в форме выполнения совсем мелкого бассейна, который может быть представляет вершину похожей на губку массы, состоящей из твердой лавы, промежутки которой заполнены расплавленным материалом. Если это так, то очевидно, что при опускании уровня лавы совершенно жидкое состояние должно или возобновляться, или можно было бы видеть губку из лавы.

Исключительно благоприятный случай для на-

блюдения подземной работы в этом кратере доставил сильный взрыв 1924 г., при котором кратер Гале-Мау-мау был очищен и обнажен до глубины 460 м. Трубка была совершенно свободна от свежей стекловатой лавы, которая конечно прилипла бы к стенкам, если бы трубка была выполнена жидкой лавой. И среди выброшенных обломков не было совсем стекловатой лавы; они целиком состояли из древних, хорошо раскристаллизованных лав, подобных лавам Мауна-Лоа, но совершенно не похожих на современные потоки из Килауэа. Около 180 м над дном кратера находился участок, который был, как это было видно ночью, раскален докрасна. На дне было несколько ревуших газовых струй, которые по ночам представлялись раскаленными докрасна. Но когда лава начала возвращаться в кратерную яму, она была ключом фонтаном больше 50 м вышиной, в одном месте высоко над обвалившимися глыбами.

Отсюда можно вывести заключение, что мы не должны представлять отверстие кратера Килауэа как отверстие кипящего сосуда лавы, непрерывно простирающегося вглубь до большого особого резервуара магмы, а как соединительную трубу с многочисленными подземными разветвлениями, сообщающимися со множеством отдельных камер, каждая из которых доставляет лаву при разной температуре и разном давлении и с различающимся содержанием газа. Когда лава поднимается по трубе, она вспенивается совершенно в губчатую массу из ее собственного, частью застывшего материала, причем примешанные к ней и плохо распределенные газы неправильно реагируют один

с другим, образуя меняющие свои места участки очень жидкой лавы с высокой температурой. Кра-тер Гале-Мау-мау можно скорее рассматривать, как имеющий характер лавового ключа, а не лаво-вого колодца.

Главными проблемами на Килауэа, которые надо разрешить, являются вопросы о поддержании те-плоты во время существования лавового озера и вопросы об источнике и способе доставки лавы. Пока думали, что трубка представляет широкий цилиндрический канал, совершенно заполненный жидкой лавой, поднимающейся из глубины, тогда было естественным также думать, что тепло от-части возмещается поднятием снизу перепретых га-зов и отчасти получается благодаря химическим реакциям между собой и с атмосферным кислоро-дом. На основании данных излучения из лавового озера в нормальные периоды Дэли подсчитал, что для поддержания его температуры необходимо 400 миллионов калорий в секунду.¹ Он думал, что ювенильный газ действует в двух направлениях, и как мощный положительный источник тепла, и как агент, вызывающий конвекцию и другие виды движения в лаве, поддерживающий таким образом ее самую верхнюю часть жидкой в про-должение периода деятельности.

Однако, когда было установлено действительное физическое состояние лавовой колонны, стало не-возможным поддерживать теорию газового плавлени-я, по крайней мере в ее первоначальной форме.

¹ Калория — количество теплоты, требуемое для подня-тия 1 г воды от 0 до 1° С.

Кроме того, сборами газов 1919 г. было установлено, что вода составляет 80% всего количества летучих, и только один процент газов был способен к дальнейшему горению на поверхности. Тогда Аллен вновь исследовал газовые реакции, которые, как предполагалось, доставляли тепло, и показал их недостаточность, чтобы поддержать температуру Килауэа. Эти реакции могут доставить необходимую теплоту только при невероятном количестве газа.

Тогда было высказано предположение о двух способах, которыми кислород мог бы передаваться в более глубокие части лавовой колонны. Джаггар думал, что плоты и острова из твердой, но пористой лавы, которые постоянно погружаются в расплавленное озеро, несут вниз запас захваченного в них кислорода, который соединяется с вулканическими газами в глубине. Шеперд предполагал, что огромное количество ржавого, окисленного пепла и лавы, которые падают в кратер, после таких извержений, как это было в 1924 г., могли приносить вниз достаточное количество требуемого кислорода. В 1924 г. 2000 млн. м³, насыщенные кислородом и содержащие окись железа в значительном количестве, упали в расширенный кратер. Если этот поглощенный материал содержал только 3% окиси железа, то он мог бы дать достаточно тепла, отдавая свой кислород горячим газам новой лавы, чтобы поднять температуру двух миллионов куб. метров от 20 до 1200° С или, другими словами, совершенно расплавить это количество материала.

В своем самом последнем исследовании этой

проблемы Шеперд относится скептически к возможности этих двух способов получения и поддержания вулканического тепла в Килауэа. Тепло конечно производится этими двумя способами и может играть заметную роль в нагревании вулкана, но этого количества тепла слишком мало, чтобы серьезно воздействовать на общую экономику тепла в системе. Шеперд склонен думать, что необходимое количество тепла может быть доставлено поднятием лавы в количестве нескольких кубических метров в секунду, если температура падает на 200° во время подъема. Таким образом проблема притока тепла на Килауэа находится еще в процессе деятельного обсуждения, и окончательный ответ на нее еще не дан.

Общепринятое мнение о способе поступления и источнике лавы резюмировано в уже высказанном взгляде, а именно в представлении, что кратер Килауэа является вулканическим лавовым «источником» с выходом, в который лава поступает из многочисленных неправильных подземных каналов; к этому присоединяется представление относительно известного числа магматических камер, вместо одного большого резервуара. В подтверждение идеи о трещиноватом пористом строении, дающем возможность проникать лаве, можно упомянуть, что опускание лавовой колонны на Килауэа часто связывается с извержением лавовых потоков из трещин на более низком уровне склонов купола.

Часто замечалось, что извержения Мауна-Лоа происходили совершенно независимо от Килауэа. Правда, здесь нельзя отметить непосредственных

отзвуков в Килауэа на извержения большего и более высокого вулкана; и этот факт используется в подтверждение взгляда, что нет подземного сообщения между обоими вулканами, через которое могло бы устанавливаться гидростатическое равновесие. Однако отмечено, что если материал в жерле Килауэа, и вероятно также в Мауна-Лоа имеет губчатое или пенистое сложение, то нельзя и ожидать непосредственного гидростатического отзвука, даже если бы существовало широкое подземное сообщение, так как такие отзвуки испытывали бы явления запаздывания и затухания.

Ключ к разъяснению связи между двумя вулканами и механизмом извержения находят в комбинации двух рядов фактов, именно в том, что такие извержения, как на Килауэа в 1924 г., действительно происходят благодаря открытию огромных пустот внизу кратера, и в том, что Килауэа и Мауна-Лоа стоят каждый в пересечениях двух систем вертикальных трещин в земной коре. Взрывы сопровождают огромное разрушение стен кратера, которое наступает за отступанием лавы. Джаггар подсчитывает, что в 1924 г. поглощение доходило до 201 млн. м³, достаточных, чтобы образовать колонну в 900 м вышиной с поперечным сечением равным ширине кратерной ямы Гале-Мау-мау. Только 760 тыс. м³ были выброшены взрывами из кратера. Так как поглощенный материал погрузился до горизонта 600 м над уровнем моря, полость, которая была вызвана отступанием лавы, должна была бы распространяться по крайней мере до 100 м ниже уровня моря. Далее, Джаггар оценивает количество лавы, которое влилось в

кратер Килауэа между 1823 и 1921 гг., в 1711 млн. м³; это количество почти одинаково с тем, которое вылилось из вековых трещин Мауна-Лоа за тот же период. Кратер Мауна-Лоа вероятно наполнился в такой же степени. Вес заполнения кратера в Килауэа в продолжение столетия, не считаясь со значительным количеством поглощенного материала, выражается в 4785 миллионов т, и это выполнение имеет приблизительно очертание клина, тонкий конец которого направлен вниз. Теперь разъясняется значение системы трещин, встречающихся в этих двух эруптивных центрах. Пустыня Кау и расселины Пуна сходятся у Килауэа, расселины Каруку и Хило у Мауна-Лоа. Таким образом, клинья тяжелой лавы у каждого кратера образовались в месте, где сходятся системы пересекающихся трещин, бока которых, как показывают наблюдения над землетрясениями, повторно приходят в движение. Присоединим к этому факт, что Гавайские острова, как это показал Горансон, являются неуравновешенной и опускающейся частью земной коры, образующей дно Тихого океана, и мы получим во всяком случае начало разрешения проблемы Килауэа.

Джаггар рисует механизм следующим образом: лава у корней вулканов приводится периодически в натяжение вследствие изменившихся на всей площади условий тяготения. В эти периоды вулканы вздымаются вверх, глыбы, заключенные между сходящимися системами трещин, приподнимаются, и лава выливается в кратеры. Когда вес изверженной лавы в Мауна-Лоа превзойдет некоторую критическую величину, клинообразное на-

Копление ее скользит вниз и так сказать стискивает угловатые глыбы. Таким образом, когда лава начинает оседать, она вытекает через вновь открывающиеся боковые трещины и вызывает обыкновенные боковые извержения на склонах. С опусканием лавовой колонны ниже уровня, где она вытекает, извержение прекращается. Кратер на меньшей высоте (Килауэа) будет наполняться лавой, более или менее в соответствии с более высокорасположенным (Мауна-Лоа), и если опускание последнего достаточно велико, оно может вызвать соответствующее освобождение в более низком кратере и привести в действие тот же самый механизм опускания клиньев и боковые трещинные излияния. Цикл заканчивается опусканием лавовой колонны ниже уровня воды, когда происходят сильные взрывы и поглощение обрушенного материала (*engulfment*), как это было в 1924 г. Во всяком случае таково представление Джаггара о соотношениях Мауна-Лоа и Килауэа и о механизме их извержений за время с 1914 по 1924 г. Автор настоящей книги, однако, держится того мнения, что огромная несоразмерность в интенсивности явлений обоих вулканов, на которую указано на стр. 95, остается еще не выясненной.

В большом количестве щитовые вулканы встречаются в Исландии, но повидимому они не извергались в исторические времена и вероятно являются совершенно потухшими. Г. Рек, главный исследователь этих вулканических форм, утверждает, что исландские вулканы значительно меньше, чем гавайские, и что их принципиальное

различие от гавайского типа зависит от разницы в размерах. Во всех существенных особенностях, однако, исландские щитовые вулканы одинаковы с гавайскими. Они представляют низкие плоские куполы, сложенные рядом тонких слоев базальтовой лавы, обладающие центральным кратером с отвесными стенками (pit crater), который иногда заполнен до краев затвердевшей лавой, очевидно представляющей застывшее озеро, а иногда имеет вид опустившейся внутрь кратера ямы с вертикальными стенками и с вторичными кратерными ямами на ее дне. Замечательной особенностью этих исландских вулканов является присутствие возвышенного края плотного стекловатого базальта, который образует более или менее полное кольцо вокруг кратера на вершине купола. Термин *щитовой вулкан* является таким образом особенно подходящим для этих форм, так как краевое кольцо приподнимается в центре лавового купола совершенно так же, как в середине щита выступает шишка. Рек связывает образование этого приподнятого края с разбрызгиванием и фонтанами лавового озера, которое было расположено в вершинном кратере, и таким образом считает его аналогами приподнятого края Гале-Мау-мау в Килауэа. В гавайских вулканах однако нет приподнятых краев лавы, окружающих вершинные кратеры, хотя они может быть были, когда вулканы были моложе и меньше. Они теперь выросли до таких больших высот и до таких огромных размеров, что лава пробивается из боковых трещин и никогда не наполняет центральный кратер.

Колотта Дингья, который Рек считает наибо-

лее типичным исландским щитовым вулканом, поднимается до высоты 420 м над окружающей местностью, имеет окружность около 19 км и диаметр в 6 км. Средний угол склона между $6-7^{\circ}$, возрастая вблизи вершины до 8° . Круглый кратер имеет 500 м в поперечнике; кратерное кольцо 10—15 м вышины и поднимается с внешним углом наклона в 30° (рис. 11).



Рис. 11. Поперечное сечение исландского щитового вулкана.
По Г. Реку.

Считают, что эти вулканы образовались спокойным выливанием очень жидких потоков лавы со всех сторон кратера, с симметричным поэтому расположением потоков относительно фокуса и с образованием очень правильной внешней формы. Здесь нет признаков боковых извержений, как в гавайских типах. Мощность отдельных лавовых слоев удивительно мала, большая часть из них толщиной от 30 до 75 см, и они могут растекаться на значительное расстояние. Их крайняя подвижность в жидком состоянии видна из того факта, что поток Фрамбуни из Тролля-дангья имеет 120 км в длину, и что узкий лавовый поток из Скъялдрейд протек 22 км по уклону в 17 м. Необыкновенно тонкие потоки отмечены также и на Гавайе. Так, поток Киайва выливался из трещины 9 км длиной на юго-западной стороне Килауэа и тек на 6,5 км, имея толщину местами только в несколько сантиметров.

В плейстоценовый период, а также во время великого оледенения ледниковой эпохи в Исландии были более многочисленные и более крупные щитовые вулканы, чем в настоящее время. Этим вулканам приписывают образование мощной и широко развитой формации долеритовой лавы, на которой расположена столица Исландии Рейкьявик. Считают, что Рейкьявикский поток происходит из вулкана Лангйокула, находящегося в 80 км к востоку. Размеры этих потоков и крупнозернистая структура лавы позволяют предположить, что плейстоценовые щитовые вулканы Исландии по своим размерам могли соперничать с вулканами Гавайи.

Глава V

СТРАТО-ВУЛКАНЫ ЭТНА И ВЕЗУВИЙ

Как указывает само название, страто-вулканы — это формы, которые представляют хорошо напластованную или слоистую структуру, обязанную своим происхождением чередующимся извержениям лавы и выбросам обломочных материалов. С одной стороны существуют страто-вулканы только с небольшим количеством пепла, приближающиеся в общем по составу к Гавайским и Исландским лавовым куполам; с другой стороны, существуют конусы, в которых больше пепла, чем лавы. Этна является примером первого рода вулканов, Везувий — последнего. Эти известные средиземноморские вулканы наблюдались и изучались в продолжение гораздо большего времени,

чем какие-либо другие на земной поверхности.

Они могут поэтому служить главными типами стратовулканов.

Этна, без сомнения, является самым большим вулканом в Европе. Она поднимается на 3230 м над уровнем моря; ее неправильно-округлое основание приблизительно равно 65 км в диаметре и около 230 км в окружности. Общий объем Этны, включая большую впадину Валь-ди-Бове исчисляется в 894 км³. Таким образом, размеры Этны выдерживают сравнение с размерами некоторых вулканов Гавайи, Исландии и Анд.

Гора обнаруживает три определенных зоны, различных по своим физиографическим особенностям и характеру ландшафта. Самая нижняя представляет кольцо плодородной почвы, получившейся вследствие разложения древних лав и туфов — фундамента горы. Она тянется до 760 м над уровнем моря и хорошо возделана жителями многочисленных городов и деревень, окруженных оливковыми рощами, виноградниками, полями и фруктовыми садами. Эта зона на высоте 1830 м сменяется лесной зоной с каштановыми, дубовыми, буковыми и пробковыми деревьями, за которой следуют выше к верхней границе зоны сосны. Наконец, пустынная местность простирается от высоты 1860 м до вершины; это бесплодная пустыня красной и черной лавы, шлака и пепла с большими скалами и пропастями, заканчивающаяся снеговым плато, на котором выступает вершинный конус, испускающий водяной пар и сернистые газы. При описании физических особенностей вулкана следует упомянуть об огромной впадине Валь-

ди-Бове, которая находится на его восточном склоне и имеет 8 км в длину и 5 км в ширину.

В противоположность Везувию, вулканическая природа Этны была известна с самых ранних времен, и гора ярко изображается в литературе древней Греции и Рима. Пиндар и Эсхил воспевали ее огненные извержения и могучую силу. Существовала греческая легенда, что Зевс похоронил бунтующего гиганта Тифона под Этной, и что его борьба и конвульсии являются причиной извержений. В других мифах этот вулкан представляет кузницу Гефеста и Циклопа. Фукидид рассказывает об извержении в 693 г. до нашей эры и Ливий упоминает о трех извержениях в I и II веке до нашей эры. Согласно Диодору Сицилийскому, лавовый поток Этны в 396 г. до нашей эры был в 38 км длиной и 63 км шириной, и он остановил наступление карфагенского войска. Некоторые другие извержения упоминаются более поздними историками, но вслед за падением Рима и началом средневековья наступило полное отсутствие записей, и рассказы о деятельности Этны возобновились только после общего оживления интеллектуального интереса, благодаря эпохе Возрождения. Разрушительные извержения Этны происходили в 1169, 1329, 1536 и 1669 гг. Вершина конуса уменьшилась до 305 м в высоту, что составляет потерю около $\frac{3}{4}$ км³ материала, и лавовый поток такого же объема разрушил город Катанию и завалил ее гавань расплавленной породой. Уже в текущем столетии зарегистрированы четыре больших извержения, последнее из которых происходило в ноябре 1928 г. и уничтожило город

Маскали. К. дю-Риш-Преллер насчитал 120 извержений, начиная с 693 г. до нашей эры, из которых 26 представляли сильные пароксизмы. Он суммирует эруптивную деятельность Этны следующим образом:

- 1) доисторический период до 700 г. до нашей эры;
- 2) ранний исторический период от 700 г. до нашей эры до 1600 г. нашей эры;
- 3) новый исторический период от 1600 г. до настоящего времени.

В продолжение третьего периода, о котором конечно мы имеем самые надежные записи, извержения происходили в среднем каждые шесть лет. Наблюдения показывают постепенное уменьшение в объеме больших лавовых потоков; но с другой стороны, происходило увеличение числа небольших извержений. Как будет дальше показано, в семнадцатом веке Этна и Везувий начали новый и особый период деятельности. Этна сильным извержением 1669 г., Везувий своим опломным взрывом 1631 г. Самые ранние извержения Этны, происходившие в доисторические времена, имели место частью в мелкой бухте (Катанский залив), которая тогда захватывала часть современного места вулкана, а частью на примыкающей суше. Лавы, вылившиеся в продолжение этой фазы деятельности, теперь образуют широкий низкий пьедестал, на котором покоится современное строение вулкана. Последнее было воздвигнуто до теперешней высоты отчасти извержениями и отчасти поднятием основания, которое превратило Катанский залив в сушу.

Главный конус таким образом поднимается из центра платформы доисторических лав. Его более ранняя деятельность происходила в трех точках, расположенных вдоль трещины, протягивающейся с северо-запада на юго-восток, причем теперешний вертикальный конус стал действовать последним. Остатки от двух более ранних центров образуют огромные старые кратеры, теперь почти заполненные свежей лавой, образующей плато на высоте 2650 м. Теперешний конечный конус поднимается на 610 м над этой платформой. Его кратер имеет в поперечнике 360—450 м и глубиной в 230 м.

На восточном склоне Этны находится огромная впадина, известная под названием Валь-ди-Бовэ. Она тянется в юго-восточном направлении на 8 км, и ширина ее около 5 км. Она ограничивается со всех сторон, кроме восточной, крутыми склонами и обрывистыми стенами, высотой от 550 до 1100 м, которые обнаруживают великолепные разрезы внутренней структуры вулкана. В них видны лавовые потоки со слоями туфа и аггломерата, пересеченные бесчисленными дайками. Несколько недавних извержений произошли внутри Валь-ди-Бовэ, их продукты образуют постепенно поднимающееся дно депрессии. Древний эруптивный центр Трифольетто поднимается в юго-западном секторе впадины. Прежние исследователи думали, что эта единственная в своем роде долина прорыта потоками; но она наверное обязана своим происхождением каком-то вулканическому явлению: или сильному извержению со взрывом вдоль трещины, идущей с востока на запад (дю-Риш-Преллер),

оеданию, как в гавайских кратерах (Ляйель, Сарториус-фон-Вальтерсгаузен).

Самой выдающейся особенностью вулканической деятельности Этны является ее стремление извергать не из центрального выхода и кратера, а из многочисленных второстепенных выходов, из которых некоторые сами образуют очень большие вулканические конусы. Эти выходы, в количестве больше 200, располагаются по трещинам, которые пересекают все вулканическое сооружение, и идут радиально по отношению к центральному каналу. Главные направления трещин с севера на юг и с запада на восток. Лава поднимается по этим трещинам и часто двигается вдоль них с более высокого до более низкого уровня. Там где она встречает препятствие, например со стороны древней затвердевшей лавы, она вытекает на поверхность, и если она богата газами, то может произвести извержение со взрывом, которое может создать большой конус из пепла и шлака. Некоторые из этих второстепенных конусов настолько велики, что в других местах они выглядели бы, как совершенно настоящие самостоятельные вулканы. Если препятствие к боковому движению не велико, так что большая часть лавы может протекать к более низкому уровню, на котором она выливается, то лава может выступить через небольшое устье или бокку. Насчитывают свыше 800 бокк на склонах Этны. Центральный кратер выделяет теперь только пепел и клубы паров, имеющие форму цветной капусты, и никогда не заполняется лавой.

Последнее извержение Этны в ноябре 1928 г.

представляет хороший пример характера деятельности вулкана (рис. 12). Согласно профессору Филиппу извержение в феврале 1928 г. действительно началось с обрушения пеплового конуса на северо-восточной стороне главного кратера. В июле и в августе было значительное выделение дыма из этого фокуса. Конечная фаза началась 2 ноября в 4 часа дня высоко поднявшимся облаком дыма над северо-восточным кратером. Два часа спустя в северной части Валь-ди-Бовэ на высоте 2800 м было замечено красное зарево, и вылился небольшой поток лавы. 3 ноября рано утром в этом месте раскрылась трещина от высоты 2530 м вниз приблизительно до 1980 м в восточно-северо-восточном направлении. На ней были расположены 12 бокк, из самой нижней бокки вытекала несколькими рукавами лава вниз до уровня 1000 м. На другое утро (4 ноября) трещина распространилась вниз до уровня 1150 м, и из ее нижнего пункта вылился тот разрушительный поток лавы, который тек на протяжении 9,5 км и наконец достиг и залил Маскали. Когда этот поток из трещины излился, верхние бокки прекратили извержения. Лава покрывала площадь в 5 км² и имела общий объем от 115 до 150 млн. м³. В месте выхода, как говорят, она была раскалена добела, что указывает на температуру 1300° С, и поэтому обладала очень высокой степенью текучести. Это находится в соответствии с наблюдением над лавовым фонтаном, который говорят бил в продолжение полчаса до высоты 73 м из северо-восточного кратера в 1917 г. (Г. Филипп). Оба явления предста-

вляют подтверждение взгляда, что Этна является действительно угасающим вулканом гавайского типа.

Согласно большинству вулканологов извержения Этны следует рассматривать не как настоящие боковые извержения, при которых лава все-таки поднимается к поверхности по центральной трубке, но как извержения эксцентрические, при которых лава не пользуется центральным жерлом, но поднимается по самостоятельным каналам. Конечно эти каналы могут соединяться с главной трубкой на большой глубине. Проф. Филипп указывает, что если бы в 1928 г. трещина достигала центральной трубки, то должна была быть более сильная сейсмическая деятельность, и должны бы излиться значительно большие потоки лавы.

Извержение 1928 г. указывает на возвращение лавы к системе трещин, направленных с востока на запад. Последнее извержение в этой системе трещин происходило в 1865 г. В промежуток между ними извержения 1883, 1892, 1910, 1911, 1918, 1923 гг. все происходили из системы трещин меридионального направления. Проф. Фридендер считает, что вулкан не истощен последним извержением, но еще содержит огромную массу лавы, способную к извержению.

В противоположность Этне α Везувии за 79 лет до нашей эры, когда произошло первое историческое извержение, не было известно, что он является вулканом или об этом только смутно подозревали. Поэтому думают, что вулкан был в состоянии покоя последние 1000 лет до этой даты. Везувий поднимается на восточной стороне большого

вулканического района, охватывающего Неаполитанский залив, остров Исхию, Флегрейские поля в Кампании к западу от Неаполя, район площадью в 2300 км² (рис. 13). Флегрейские поля охватывают многочисленные низкие кратеры, деятельность которых состоит в настоящее время только в выделении сернистых паров и водяного пара. Они включают озеро Аверно (Avernus у римлян), считавшееся входом в области ада, и также Монте Нуово, новый лепловой конус, который неожиданно возник в 1538 г. (стр. 60). На Исхии также находится несколько старых вулканов, включая Эпомео, самые ранние сведения об извержениях которого относятся к восьмому столетию до нашей эры. Его последнее извержение произошло в 1302 г. и дало начало лавовым полям Арсо, которые не выветрились и не превратились в почву, а еще представляют бесплодное каменное место, — необыкновенное явление в этом районе, где лава, как правило, в течение столетия покрывается почвой и роскошной растительностью.

Весь район подстилается меловыми и кайнозойскими отложениями, которые подверглись опусканию во время плиоцена. Образовавшаяся таким образом мульдообразная впадина была заполнена трахитовыми лавами и туфами при подводных извержениях этого периода. Отчасти вследствие накопления и отчасти благодаря действительному поднятию эта область сделалась сушей в продолжение следующего плейстоценового времени, и хотя самые ранние туфы основания, на котором построен древний конус Соммы, были отложены

в мелком море, большая часть Соммы сложена из материала, который был выброшен на сушу.

На севере и востоке настоящего конуса Везувия поднимается большой полукруглый зубчатый гребень Монте Сомма, который вместе с грядой на западе, где расположена обсерватория, представляет остатки доисторического конуса и кратера. Дно старого кратера находится на 270 или 360 м ниже края Соммы (около 1200 м над уровнем моря), и на нем поднимается современный гораздо меньший конус Везувия, который время от времени меняет высоту вследствие частичного разрушения вследствие извержений, но высота которого может достигать свыше 1200 м над уровнем моря. Его центр не совсем совпадает со старым эруптивным фокусом Соммы, а лежит около $\frac{3}{4}$ км к югу. На юге и на юго-западе склон Везувия переходит в склон Соммы. Остаток кратера старой Соммы между современным конусом и гребнем Соммы теперь образует полукруглый коридор или впадину, известную в северной части под названием Атрио-дель-Кавалло и в восточной Валь-дель-Инферно. Этот коридор постепенно наполняется эруптивными продуктами Везувия и внутри его находятся три маленьких конуса, образованные извержениями 1891—1894, 1895—1899 и 1903—1905 гг. Везувий, имеющий 2,5 км в диаметре, является гораздо меньшим, чем его предшественница Сомма, которая, как подсчитывают, имеет 16 км в диаметре и покрывает площадь 200 км². Восемьдесят конусов такого размера как Везувий могли бы поместиться внутри древнего конуса Соммы.

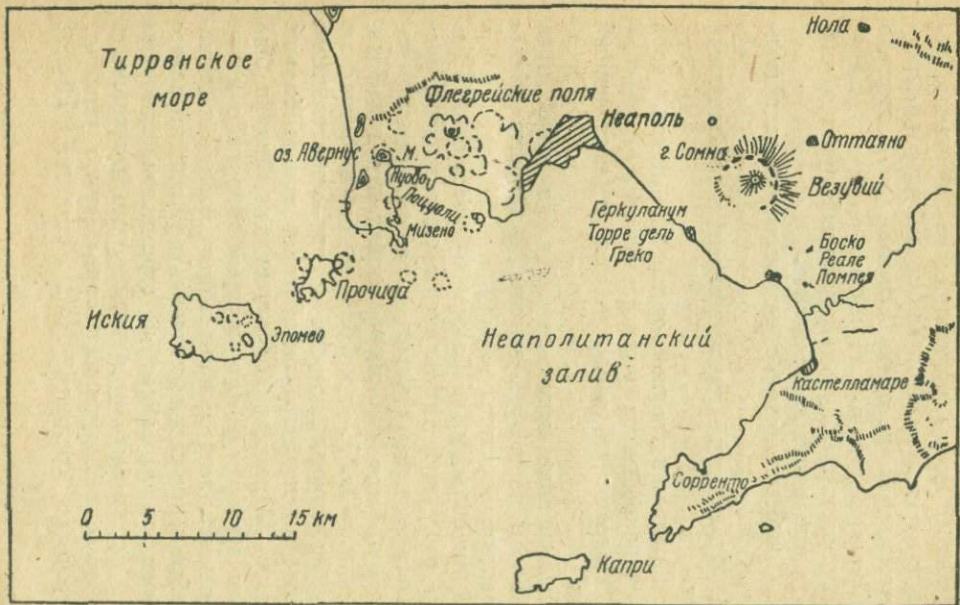


Рис. 13. Карта Везувия и Флегрейских полей.

Вулканические центры отмечены пунктирными кругами и полукругами.

На основании замеченных чередований отложений, состоящих из вулканических обломков, лавовых потоков и пластов земли, К. дю-Риш-Преллер резюмирует историю Соммы до 79 года до нашей эры следующим образом:

I. Возрастание, кульминационный пункт и упадок вулканической деятельности.

II. Состояние покоя, гора покрылась растительностью.

III. Извержения пароксизмами и постепенный упадок.

IV. Продолжительное состояние покоя, гора выше и покрывается растительностью.

V. Извержения пароксизмами и постепенный упадок.

VI. Состояние покоя до 79 г. до нашей эры. Гора около настоящей высоты и покрыта обильной растительностью.

Таким образом, до большого извержения 79 г. можно различить три периода деятельности, разделенные периодами покоя. С этого времени, по видимому, было два определенных периода деятельности. От 79 до 1631 г. были случайные большие извержения, но с продолжительными интервалами полного спокойствия, иногда больше столетия. Однако, с 1631 г. вулкан едва ли был спокоен все время. Его прошлое говорит о почти непрерывной деятельности типа Стромболи, отмечавшейся через частые интервалы ужасными извержениями со взрывами и огромными потоками лавы. Может быть не случайно, что деятельность Этны тоже обнаруживает определенное усиление примерно со середины, XVII столетия Первое

большое историческое извержение было описано очевидцем Плинием младшим (стр. 6).

9 сентября около семи часов на вершине горы появилось облако в виде сосны, быстро поднимавшееся по прямой линии, подобно высокому стволу с широко раскинутыми ветвями. Таким образом, было впервые описано характерное облако вулканического извержения. Плиний также говорит выразительным языком о «вспышках огня таких же ярких, как молния, и о темноте более глубокой, чем ночью», слова, которые так точно выражают два явления, характерные для плинианского извержения — электрические разряды в облаке, вызванные трением выброшенных частиц и померкнувший дневной свет вследствие огромных туч пепла. Плиний также упоминает, как «густые темные пары катились как раз сзади нас по земле подобно потоку и следовали за нами», описание, которое напоминает тяжелые нисходящие раскаленные тучи Мон-Пеле (стр. 76).

Повидимому во время этого извержения никакой лавы не выделилось, и о лаве не упоминалось вплоть до большого извержения 1906 г. Вероятно извержение 79 г. было типичным пароксизмальным извержением с сильными взрывами, сопровождавшимися традиционным пиниеобразным облаком, пеплом, лапилли, бомбами и потоками грязи, и предварялось землетрясениями возрастающей напряженности. Южная и западная стороны кратера Соммы сильно понизились при этом извержении, и современный конус был построен последующими извержениями внутри старого кратера (рис. 14).

Существуют указания на сильные извержения в 203 и в 472 гг., во время которых тонкий пепел был отнесен до Константинополя. Другое сильное извержение, которое опустошило Кампанию, происходило в 512 г. Извержения в 685, 993, 1036, 1139, 1306 и 1500 гг. не совсем достоверно установлены. Говорят, лава впервые появилась в 1036 г. Колоссальное извержение в 1631 г., после 130 лет спокойствия, во время которого гора снова покрылась растительностью,

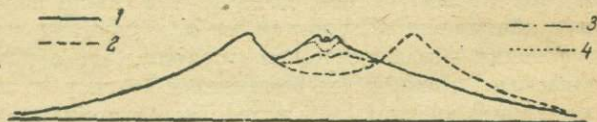


Рис. 14. Очертания Везувия в различные периоды.

1 — современное очертание; 2 — после извержения 79 г. до нашей эры; 3 — в продолжение шестнадцатого и семнадцатого столетий; 4 — в конце большого извержения 1906 г.

вводит в современный период более или менее непрерывного извержения. Согласно Преллеру, плинианские извержения, подобные по силе извержению 1631 г., происходили в 1794, 1872 и 1906 гг., тогда как извержения меньшей интенсивности, но все-таки заслуживающие эпитета сильных, происходили в 1660, 1737, 1760, 1834 и 1855 гг. Шесть периодов спокойствия, с максимальной продолжительностью в двадцать лет и средней продолжительностью в тринадцать лет, начинаются в 1639, 1738, 1795, 1835, 1873 и 1907 гг.

Большое извержение 1906 г., которое явилось

темой великолепной монографии Ф. А. Перрета, послужит нам примером для более подробного описания. Предшествующее извержение большого масштаба происходило в 1872 г. и окончилось образованием нового центрального вершинного конуса внутри кратера. Затем следовал период относительного спокойствия, продолжающийся около двенадцати лет. Извержения в 1885 г. и с 1891 до 1904 гг. были перемежающимися, и их особенностью были лавовые потоки у северного и западного оснований конуса. Эти лавы были чрезвычайно вязкими и сгрудились в три кучи, состоящие из лавы и шлака, которые находятся в Атриодель-Кавалло и в Валь-дель-Инферно. В декабре 1904 г. Перрет обнаружил, что магматическая колонна находилась на низком уровне, а кратер представлял простое воронкообразное углубление около 90 м глубины. С этого времени далее деятельность вулкана выражалась в образовании постепенно создающегося вершинного маленького конуса из свежего шлака с частыми и большими извержениями светящейся жидкой лавы (стромболианский тип) или темного пепла, обязанного своим происхождением частичному обрушению этого непрочного сооружения (вулканский тип). Несмотря на эти препятствия, этот небольшой внутренний конус постепенно рос кверху и достиг наибольшей высоты в мае 1905 г., когда он стал виден над краем кратера. Лавовая колонна при очень высокой температуре, как это показывает яркий цвет раскаленной лавы, держалась таким образом на наиболее высоком, возможном для нее уровне внутри конуса, построенного из рыхлого

шлака и пепла. Эти условия вместе с сужением выходного отверстия к основанию маленького конуса должны были вызвать еще большую неустойчивость. Кроме того в нижней части колонны должно было произойти огромное скопление газа с очень увеличившимся напряжением. Кульминационный пункт однако запоздал на 10 месяцев, вследствие образования трещин на главном конусе с северо-западной стороны, причем лава выливалась из трех выходов. Лава эта выливалась из верхней части колонны внутри конуса, которая замещалась поднятием еще более горячей магмы снизу. Перрет описывает расплавление старой лавы, как показатель очень высокой температуры, господствовавшей во время этой прелюдии вулканического извержения. В это время он стоял с группой исследователей на поверхности твердой лавы конуса, температура ее постепенно возрастала, пока жар под ногами не сделался невыносимым. Во время их ухода было видно как круглая площадка около 2 м в поперечнике стала, при полном дневном свете, раскаленной, она начала вздвигаться, наконец, без всякой трещины, материал дошел до точки полного плавления, и вниз по склону потек небольшой недолговечный лавовый ручей. В феврале 1906 г. состояние извержения по своей интенсивности усилилось, и вулкан «был в состоянии деятельности, которую можно лучше всего определить как угрожающее настроение вулкана».

Эти явления завершились большим извержением 4—8 апреля, которое Перрет разделяет на три фазы: 1) начальная фаза светящейся жидкой

лавы, 2) промежуточная — газовая лава, 3) конечная фаза темного пепла. Утром 4 апреля массы темного пепла начали выбрасываться вместе с обыкновенным белым облаком, вероятно происходя от разрушения нижней части конуса. Неаполитанцы ходили под зонтиками, укрываясь от дождя вулканического песка. Около полуночи произошло обильное и быстрое выделение лавы из новой трещины с южной стороны главного конуса на более низком уровне, чем предыдущее извержение. В 8 часов утра 6 апреля открылся новый выход на северо-восточном склоне конуса на высоте только 550 м над уровнем моря. Из него выделился огромный поток сильно раскаленной и чрезвычайно жидкой лавы, которая была фонтаном из выхода и быстро текла вниз к Боскотреказе. Также были возрастающие сильные толчки землетрясения и большие взрывы у кратера. Вулкан, согласно Перрету, жужжал и дрожал, подобно гигантскому кипящему котлу под колоссальным давлением пара. Происходили большие электрические разряды, вследствие трения темного пепла и массы светящейся лавы, сильно выбрасывавшихся вверх из кратера.

В этой первой фазе извержения преобладающей чертой был поток раскаленной лавы и выбросы ее со взрывами. Утром 8 апреля вся лава была выброшена, и жерло вулкана было чисто. Затем началась вторая фаза (которая, однако, не признается некоторыми вулканологами) с выделением ужасного тока сжатых газов, которые вырывались в течение нескольких часов, вынося с собой относительно малое количество пепла, и образовали ги-

гантское облако, имеющее вид цветной капусты, 11 км в высоту. Перрет обращает внимание на непрерывность этого явления. «Это не было взрывом, или серией взрывов, а было колоссальным непрерывным выделением газа под огромным давлением, подобным выходу пара из котла ужасного локомотива». Подавляющий психологический эффект этого явления может быть иллюстрирован следующей выразительной выдержкой из отчета Перрета.

«Самое сильное из всех впечатлений, полученных от этих удивительных, следовавших одно за другим явлений, самым поразительным и наиболее заслуживающим того, чтобы быть отмеченным, — было впечатление безграничного достоинства, которым было преисполнено каждое из проявлений этого изумительного освобождения энергии. Нет тех слов, которыми можно было бы выразить все величие его хода, описать то полное отсутствие какого бы то ни было усилия, ту самодовлеющую мощь, которая была проявлена при совершении стоящего перед ним задания, и то величие, с которым оно совершалось. Каждый стремительный толчок являлся венцом чего-то могучего, глубокого и единообразного, от чего этот толчок зарождался, и это что-то, медленно модулируя свои ритмические биения, заставляло отнести настоящее извержение к разряду явлений могучих, торжественных и великих.

«Нельзя было отрешиться также и от чувства полного благоговейного ужаса. Явления, благодаря своей интенсивности, вступали в сферу, находящуюся за пределами нормального в природе,

туда, где лицом к лицу стоишь перед силами более великими, более стихийными, чем те, с которыми до сих пор сталкивался. А это неизменно влечет за собой то настроение, при котором мы вряд ли способны признать это превращение, происходящее в видимой вселенной за нечто вполне естественное, и человек с трудом внемлет голосу разума, подсказывающего ему, что все это кончится, и что все, как прежде, станет нормальным. И потому для многих события этого и последующих дней, мрака, вызванного пеплом, казалось, ясно показывали на то, что — как писал Плиний Младший при подобных же условиях, и в той же самой местности почти 200 лет назад — последняя вечная ночь, о которой говорится в преданиях, навсегда опустилась над миром».

Третья фаза темного пепла, которая следовала за выделением газов, началась 9 апреля и продолжалась с постоянно уменьшающейся интенсивностью в течение двух недель. Она состояла из выделения газовых облаков, настолько нагруженных вулканическими обломками, что они были совершенно черные. С каждым выделением непроницаемый покров тьмы покрывал Неаполь и окружающую местность. Сотни тысяч людей покинули город, и религиозные процессии, призывающие заступничество святых, наполняли улицы. Эта фаза была вызвана постепенным падением остатков конуса, который и позже еще затруднял уменьшающееся выделение газа.

Сильные электрические разряды сопровождали черные облака. Ландшафт Везувия был покрыт толстым слоем пепла, и опасные горячие лавины

скатывались вниз по склону горы. Конденсация водяных паров в облаке кратера была причиной образования мягких шариков из грязи, главным образом величиной с горох, хотя некоторые достигали величины яйца, которые, затвердевая, образовывали пизолиты (стр. 55). 28 апреля результатом обильного ливня были большие потоки грязи, которые принесли большой ущерб и даже привели к человеческим жертвам. 30 апреля извержение окончательно прекратилось. Затем наступил период спокойствия, который продолжался семь лет. Непосредственно после извержения место прежнего кратера и конуса было занято большим отверстием, имеющим вид широко зияющей воронки, в которой не было видно дна ни с какой части вершины (рис. 15 и 16). Основание этой воронки было вероятно метров на 600 ниже ее края. Ряд больших внутренних обвалов развалившейся лавы и пепла, составляющих стены воронки, начался тут же, как только извержение прекратилось, и около 1909 г. дно кратера стало видно. Такое осыпание краев ямы выразилось в ее дальнейшем расширении (рис. 15) пока, в мае 1913 г. образование широкой конической впадины на дне кратера, которое выделяло большое количество газообразной хлористо-водородной кислоты, не повело к началу нового периода извержения. В июле 1913 г. в этой воронке снова появилась лава, и Везувий возобновил свое нормальное состояние, как вулкан со свободной, внешней и почти непрерывной деятельностью. Поднявшаяся лава скоро образовала разбрызгиванием и взрывами конус, и с этого времени история вулкана является исто-

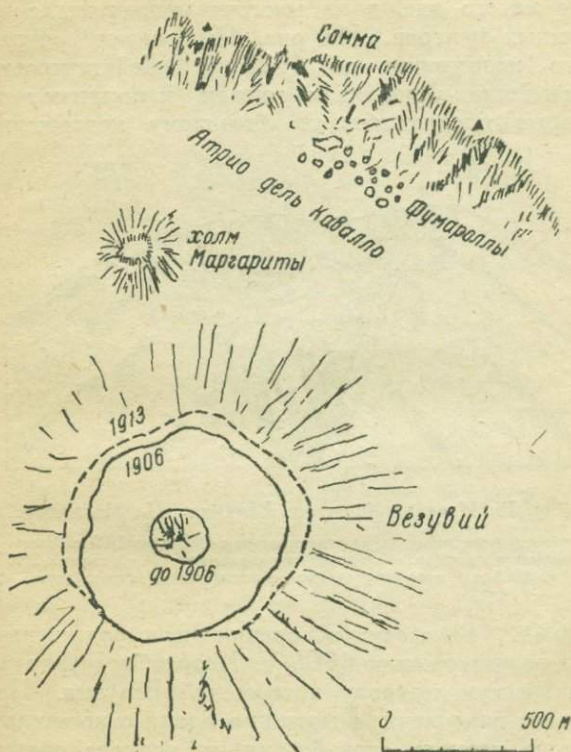


Рис. 15. Карта Везувия, где показаны очертания кратера до и после извержения 1906 г.

рией почти непрерывного процесса заполнения кратера извержениями из нового конуса, возникшего на его дне, и из многочисленных менее постоянных центров. На рис. 16 показан прогресс этого наполнения до 1920 г. Действительно, дальнейшие условия во многом напоминают те, которые предшествовали большому извержению

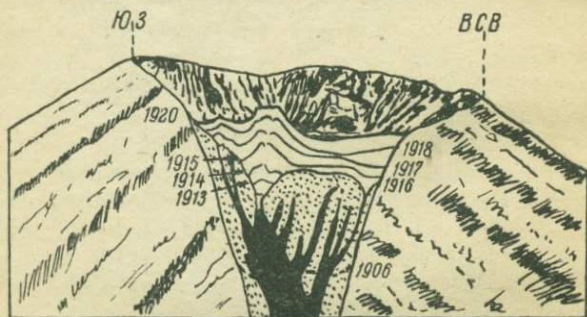


Рис. 16. Идеальный разрез Везувия. По Малладру.

Видно прогрессивное заполнение кратера с 1906 г. по 1920 г. Часть, покрытая точками, обозначает заполнение кратера обвалами с 1906 до 1913 гг.; сплошная черная — главный ствол и язык лавы.

1906 г. В своем обзрении непосредственных причин извержения 1906 г. Перрет подчеркивает циклическую природу извержений Везувия. Происходит накопление энергии во время относительно долгого периода спокойствия и периода сравнительно умеренного стромболианского извержения; но оно катастрофически разрешается во время короткого периода главного извержения. Таким образом происходило постепенное поднятие лаво-

вой колонны до извержения 1906 г. Тремя факторами, появление которых благоприятно для начала фазы самого главного извержения, являются: 1) большая высота лавовой колонны, и следовательно большое давление на стены выхода; 2) поддерживание высокой температуры в лаве, благодаря прохождению активных газов и химическим реакциям, в результате которых появилась способность растопления или расплавления старой лавы и пепла; 3) сужение выхода до маленького конуса на краю кратера, результатом чего было возрастание и накопление газового напряжения внизу лавовой колонны.

Согласно Перрету, главным элементом извержения является газ. Он определенно указывает, что в центральных извержениях типа Везувия, лава и пепел относятся к второстепенному явлению. Действительно, механизм извержения таков: в нижней части лавовой колонны накапливается насыщенная газами магма, которая развивает большое количество тепла, благодаря химическим реакциям. Происходит свободное улетучивание газа в воздух, и следовательно меньшее количество идет на взрывную деятельность. Ниже однако условия фактически одинаковы с теми, какие бывают при закрытом выходе и получается сильно насыщенная газом потенциально взрывчатая магма, которая удерживается только неустойчивым столбом выходящей вверху лавы. Извержение имеет место, когда какой-нибудь фактор нарушает неустойчивое состояние равновесия, получающегося таким образом. Другими словами, этот очень несовершенный предохранительный клапан может открыться в лю-

бое время, подобно плохой пробке в бутылке с содовой водой. Нарушающим равновесие фактором часто является, как это было в извержении 1906 г., разрыв слабого вершинного конуса под большим давлением находящейся в нем лавовой колонны. Трещина южной стенки конуса 4 апреля «спустила курок» извержения, позволив вылиться достаточному количеству верхних слоев жидкой лавы для того, чтобы освободить со взрывом сильно насыщенную газами магму, находящуюся внизу. Раз только извержение началось, оно идет своим путем со все возрастающей силой, пока энергия магмы не будет исчерпана. Расширение магмы сопутствует ее поднятию в канале. Выход лавы и разрушение вершинного конуса образовали первую фазу извержения 1906 г.; промежуточная фаза мощного выделения газа отвечала вступлению в действие самых нижних, наиболее насыщенных газом слоев; конечная фаза с небольшим давлением и обильным теплом была связана с уменьшением газового давления и обрушением остатков конуса.

Наибольшее количество современных вулканов извергает базальт или андезит. Однако Везувий является единственным, который доставляет редкие типы лав, богатых кали и содержащих калиевый минерал — лейцит. Лавы вынесли и изменили глыбы известняка, оторванные от пород основания; при реакции с этими ксенолитами (чуждыми камнями), при газовых реакциях и при действии фумарол образовались многочисленные редкие и интересные минералы, которые были найдены в хороших кристаллах на Везувии и около него.

УГАСАЮЩИЕ ВУЛКАНЫ — КАТМАИ И ЛАССЕН
ПИК

Когда вулканы приближаются к истощению, вероятно, как мы увидим, вследствие кристаллизации находящейся под ними магмы, они становятся более взрывчатыми, хотя с более продолжительными перерывами спокойствия и видимого потухания, и выделяют огромное количество пара, который дает в результате взрывы паров, фумаролы, кипящие источники и гейзеры. Краткие описания некоторых примеров сильных взрывов пара — Мон Пеле, Кракатау, Папандаянг, Тамборо и Бандайсан — были даны в главе III. Настоящая глава посвящается более подробному описанию Катмаи (Аляска) и Лассен Пик (Калифорния), которые извергались в недавнее время и были предметом подробного исследования.

Гора Катмаи расположена близ восточного конца полуострова Аляски, который выдается в юго-западном направлении от материка по кривой линии, выпуклой к югу, на расстоянии 800 км. Алеутские острова продолжают эту кривую дальше на расстояние 1800 км по направлению к Азии.

Этот большой ряд Алеутских гор, как на континентальном полуострове, так и на Алеутских островах, включает многочисленные действующие и потухшие вулканы. На полуострове Аляска находится по крайней мере двенадцать действующих или находящихся в состоянии покоя вулканов и гораздо большее число на Алеутских островах, которые включают остров Иоанна Богослова

(стр. 63). Эта большая зона изверженной деятельности является одной из наиболее точно установленных на земном шаре. Все эти действующие вулканы заключены в полосе, которая имеет только 40 км в ширину, хотя в длину она имеет 2600 км. Только два вулкана Аляски, горы Врангель и Эджкомб, расположены вне Алеутской зоны.

Вулканы полуострова Аляски прорвали почти горизонтальные осадки главным образом мезозойского возраста. Однако Алеутские острова, геологическая структура которых фактически неизвестна, представляют вершины узкого гребня, по обеим сторонам которого глубина океана доходит от 1830 до 3600 м. Это заметное линейное распределение явлений вулканизма указывает на глубокий разлом в земной коре, но в поверхностных осадках можно найти незначительные признаки дислокации.

Катмайская группа вулканов построена на платформе верхне-юрских отложений, которые падают однообразно кнаружи под углом 10—15° по обе стороны этой гряды.

В числе вулканов у континентального конца полуострова Аляски находятся Редаубт, Илиамна и остров Св. Августина в бухте Кука (рис. 17). Редаубт действовал в январе 1902 г. и вулкан Св. Августина сильно извергался в октябре 1883 г. Кугак, который действовал вероятно в 1889 г., представляет самый восточный вулкан на самом полуострове. Следующей к западу идет гора Катмай и ее ближайший сосед гора Магеик, принимавшая участие в недавней деятельности Катмай. За ними следует гигантский кратер Ань-

якшака, открытый в августе 1922 г. Он имеет почти круглое очертание с максимальным диаметром в 10 км и с минимальным 9 км. Вулкан Вениаминов, находящийся еще дальше к юго-западу,

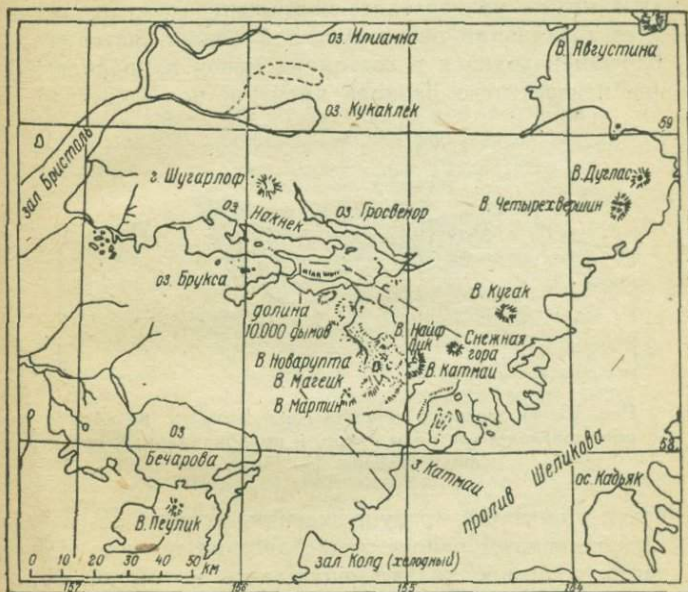


Рис. 17. Карта района Катмай, Аляска. По Григу.

Вулканы обозначены буквой В; пунктиром обозначена граница Катмайского национального заповедника.

имел сильное извержение 28 августа 1892 г. Много других известных вулканов находятся на полуострове, и несмотря на это, еще большее количество может быть открыто.

Гора Катмаи до извержения в 1912 г. представляла вулканический конус, вышиной в 2286 м (рис. 18). Лавы, из которых он образовался, с его ближними соседями, являются основными андезитами, но последнее извержение дало риолит, представляющий очень густой и вязкий материал. Катмаи находился в состоянии покоя в продолжение неизвестного периода времени, но — он взор-

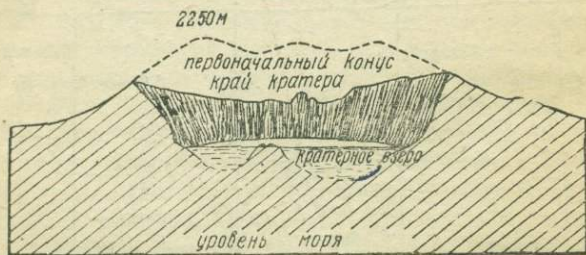


Рис. 18. Поперечное сечение горы Катмаи, на котором показаны кратер и озеро, и первоначальный профиль вулкана. По Григу.

вался, почти без предупреждения, 6 июня 1912 г. Однако в этом районе землетрясения происходили часто, и резкие толчки ощущались в течение последних пяти дней перед извержением. За день до взрыва на самом Катмаи произошло извержение песчаных потоков в долине Десяти тысяч дымов. Утром 6 июня были частые небольшие взрывы и землетрясения, но сильная фаза не наступала до часа дня. В это время произошел колоссальный взрыв, который был слышен в Джуно за 1200 км на восток и в Доусоне за 1040 км

на север через цепи внутренних гор. Второй ужасный взрыв произошел в 3 часа дня и третий в 11 часов вечера. Затем вулкан пришел в состояние почти непрерывно сильного извержения в течение нескольких дней, и его действие продолжалось с постепенным уменьшением интенсивности до конца августа.

Огромное количество изверженного материала, составлявшего около 20 км^3 , было выброшено на окружающую местность и легло прекрасно напластованными отложениями, достигающими в толщину от 25 см до 3 м. У Кодиака, на расстоянии около 160 км от вулкана, был густой мрак в продолжение 60 часов. Дождь из вулканического пепла, сопровождаемый время от времени сернистыми выделениями, шел в течение 25 часов, дав мощные отложения, под тяжестью которых было повреждено много домов. Сотни квадратных километров были совершенно опустошены этим дождем из пепла. Все деревья были вырваны и сломаны, и не осталось ни одного клочка зеленой растительности. 11 июня вулканическая пыль из Катмай выпала в Ванкувере и Виктории (Британская Колумбия) на расстоянии 2100 км от вулкана. Тонкой пыли, носившейся в верхних слоях атмосферы, вследствие этого извержения, приписывалась причина холодного и сырого лета, которое отмечено на широкой площади Северной Америки в 1912 г.

Величину этого огромного извержения можно представить себе, если его центр вообразить на Везувии. Тогда Неаполь был бы погребен под пеплом в 4,5 м толщиной, а Рим был бы покрыт слоем пепла в 30 см; взрывы были бы слышны

в Париже и в Лондоне, пыль и испарения доносились бы до Брюсселя, Берлина и Осло. Проф. Григ графически изображает величину извержения, представляя результаты его, как если бы оно разразилось в Нью-Йорке. Город был бы погребен под слоем пепла в несколько метров толщиной, и его население было бы истреблено горячими газами. Филадельфия была бы покрыта пеплом в 30 см толщиной и находилась бы в полной темноте в продолжение 60 час. Пепел выпал бы на поверхности на таком расстоянии, как Буффало и Вашингтон. Звуки взрывов были бы слышны в Атланте и Сан-Луи, а пары можно было бы наблюдать в Денвере и Ямайке. Однако, так как извержение имело место в отдаленном и очень редко населенном районе, то, насколько известно, не было ни одной человеческой жертвы.

Экспедиции в 1916 и 1917 гг. достигли вершины Катмаи. Исследователи нашли, что вершина конуса исчезла, а на его месте была огромная бездна кратера 3—4 км в диаметре и от 600 до 1100 м глубиной (рис. 18). Около половины площади дна кратера было занято озером с теплой водой, которая имела особенный, молочно-бирюзовый цвет. Вблизи середины озера был островок в виде полумесяца, представляющий остатки маленького вторичного кратера. Стены этой огромной ямы состояли из последовательно налегающих один на другой лавовых потоков, за исключением западной стороны, где ледяная стена указывала на присутствие ледника, срезанного извержением. В 1916 г. большое количество струй пара выходило из расщелин около края озера, но в 1917 г.

эта деятельность значительно уменьшилась. Объем кратера исчислялся в 3500 млн. м³, или половину кубической мили, но общая сумма материала, разнесенного с конуса, включая усеченную вершину, могла быть по крайней мере около 8500 млн. м³ или немного больше 1,6 км³.

Естественно думать, что эта громадная дыра была вырвана взрывами в июне 1912 г., но К. Н. Феннер приводит веские основания для того, чтобы считать, что некоторая часть материала была расплавлена приподнятием сильно перегретой лавы. Этот взгляд он основывает на природе и размере выброшенных обломков. Более старые лавы Катмаи состояли из темносерых и красных андезитов, вновь извергнутая лава была гораздо более кислого состава, — это был риолит, из которого произошла светлосерая и белая пемза. Однако выброшенный материал Катмаи является чрезвычайно смешанным. Кроме риолитовой пемзы и обломков старой лавы и осадочных пород, через которые было пробито выходное отверстие, имеется очень много обломков не однородного сложения, состоящих из андезитовых лав более или менее расплавленных, переваренных и усвоенных новой риолитовой магмой. То, что новая синтетическая магма была образована в большом количестве, видно из факта, что подобные смешанные материалы были извергнуты из Новарупты — «нового выхода» в долине Десяти тысяч дымов. Пепел, выброшенный из Катмаи, замечателен вообще малыми размерами образующих его обломков; в нем нет больших угловатых обломков, которые можно было бы ожидать при разрушении

конуса целиком вследствие взрыва. Также и количества древних лав среди обломков пожалуй недостаточно по приблизительному расчету для той массы, которая исчезла. Отсюда Феннер заключает, что сильно перегретая магма поднялась в кратере и остановилась на некоторое время перед извержением, исчезновение стенок тогда связывается с разбрасывающим эффектом взрыва в комбинации с разъедающим и растворяющим действием магмы.

Когда Спур проходил по Катмайской тропе с северо-западной стороны от вулкана за несколько лет до извержения 1912 г., он нашел широкую лесистую долину с расчлененной топографией. Во время извержения, и вероятно за день до первого взрыва из самого Катмаи эта долина была погребена под единственным в своем роде отложением вулканического песка. Никакого следа не осталось от прежней топографии, и теперь поверхность представляет слабо покатую равнину. Тысячи фумарол и струй пара выходят через это отложение, и это замечательное вулканическое зрелище, открытое проф. Григгсом в 1916 г., было названо им долиной Десяти тысяч дымов (рис. 17).

Гуф, который теперь заполняет долину, состоит из обломков пемзы, обсидиана, андезитов и осадочных пород, размером от мелких частичек до обломков в 10 см или больше в диаметре, заключенных в массе тонкого пепла. Вообще вид у него однородный, но местами можно видеть темные линии и полосы наслоения. Мощность отложения превышает большей частью 30 м и в центральной части долины она вероятно в несколько раз

больше этого. Феннер исчисляет объем массы туфа несколько больше $3,9 \text{ км}^3$, а его вес — в 6750 млн. т.

Туф заполняет главную долину, а языки его вытягиваются в боковые долины, подобно отложению потока. Очевидно, он не был с силою выброшен в воздух и потом не упал где-то и не покрыл равномерно все топографические элементы; наоборот, его распространение ограничено понижениями прежнего ландшафта, и следовательно он достиг теперешнего положения таким же способом, как поток. Материал обладал высокой температурой, вероятно был почти раскаленным, как показывает тот факт, что деревья и трава, захваченные им, были совершенно обуглены. Около краев отложения поваленные деревья лежат, как если бы они были вырваны сильным ветром.

На первый взгляд это отложение представлялось горячим грязевым потоком, который мог произойти из кратера Катман. Однако мало вероятно, чтобы пропитанная водой грязь могла произвести наблюдаемые эффекты обугливания. Кроме того отложения пепла из Катман лежат не нарушенными поверх песчаного потока и поэтому они являются более поздними. Впервые выдвинутое Цисом мнение, что отложение было образовано экструзией сухой горячей массы из песка и пемзы, было подтверждено и дополнено Феннером при его дополнительных исследованиях. Предполагают, что поток песка извергался из выходов, расположенных в самой долине, которые были вероятно локализованы вдоль трещин, являющихся теперешним местонахождением действия фумарол.

Может быть, самый большой из этих выходов был расположен на Новарупте, новом паразитическом вулканическом конусе в верхней части долины. Новарупта кажется был крайне активным во время главного извержения и выбросил большое количество пемзы той же природы, но больших размеров, чем та, которая была выброшена из Катмаи. Последней стадией извержения была экструзия затыкавшей жерло массы из почти застывшего вязкого стекловатого материала, которая разваливалась в огромные глыбы по мере того, как она медленно подвигалась вверх. Это явление уже отмечалось в вулканах Мон-Пеле и Иоанна Богослова, и оно будет рассмотрено дальше в этой главе в связи с Лассен Пик (стр. 161). Как видно, в 1917 г. Новарупта представлял гигантское нагромождение дымящихся лавовых глыб, имевшее 250 м в диаметре и 60 м в высоту, окруженное кратерным валом из выброшенных обломков, сильно изрезанных трещинами, из которых выходил пар.

Теория, выдвинутая Феннером для объяснения происхождения большого песчаного потока долины Десяти тысяч дымов, Новарупты и также фумарол заключается в том, что образование трещин было вызвано гидростатическим давлением вслед за инъекцией пласта магмы в несколько тысяч метров под поверхностью долины, и что лава поднималась по этим трещинам. По мере того, как она поднималась, выделялись большие количества газов внутри ограниченных пространств, но не особенно бурно. Лава разламывалась в небольшие обломки, из которых каждый продолжал выделять

газы и увеличивался или распухал совершенно так, как это делается с бурой, если ее нагревать. Твердые частицы были таким образом окружены пленкой выделяющегося газа; и если трение частиц фактически было уничтожено этим путем, материал мог течь по долине совершенно так же как вода, но с большей скоростью. Можно привести сравнение с раскаленными тучами Мон-Пеле и других вулканов. Эти тучи, однако, были горячее и не переносили так много твердого вещества, как потоки долины Десяти тысяч дымов. Новарупта просто представляет канал особенно благоприятный, благодаря случайным условиям в отношении размера и легкости выделения выбрасываемого материала. Фумаролы рассматривают, как результат непрерывного выделения летучих составных частей из охлаждающегося изверженного тела внизу.

Необыкновенное развитие фумарол в долине Десяти тысяч дымов привлекает дальнейшее внимание. Там находится несколько тысяч струй пара, которые распределяются группами и вдоль некоторых линий. Несмотря на то, что они главным образом распределяются на дне долины, много их находится и на нижних склонах соседних гор, особенно по радиусу на 2,5 км от Новарупты. Некоторые фумаролы расположены внутри очень симметричных кратеров, которые были образованы взрывами.

Пар составляет от 98,55 до 99,85% по объему газов, причем наиболее важными из остальных газов являются хлористо-водородная кислота, углекислота, сероводород, азот, фтористо-водородная кислота, борная кислота и иногда метан. Второ-

степенные составные части газов представляют кислород, окись углерода, аргон и аммиак. Вода по видимому главным образом поверхностного происхождения; колебания в ее количестве тесно связаны с местными изменениями дренажа; наименьшее количество воды найдено в струях на Новарупте, в единственном месте, где расплавленная лава достигала поверхности. Температура фумарол в 1919 г. достигала приблизительно от 100 до 650°, причем температура понижалась по направлению к краям фумарольного поля. В некоторых случаях пар был достаточно горяч для того, чтобы обугливались сунутые в него палки. Конечно этот пар происходил из магматического источника и во многих местах сам поток вулканического песка еще горяч, даже у самой поверхности.

Интересные результаты получены Цисом при химических исследованиях ярко окрашенных инкрустаций, которые встречаются вокруг и внутри фумарол. Пар и кислые газы разложили пемзу и дали концентраты сульфатов, хлоридов и фторидов металлических оснований, присутствующих в пемзе. Металлические составные части также переносились газами из магматического источника. Было обращено особенное внимание на инкрустации в тех местах, где отлагались магнетит (окись железа), молибденовая синька (водная окись молибдена), фториды и сера. Аналитические данные показывают, что почти все инкрустации содержат заметное количество примесей следующих металлов: свинца, цинка, молибдена, меди, мышьяка, сурьмы, олова и серебра. Кроме того, были найдены никель и кобальт в магнетите, таллий и

висмут в молибденовой синьке, селен и теллур там, где выделяется сера. Все эти элементы имеют одно общее свойство: их соединения с хлором, фтором, серой и кислородом обладают заметным давлением пара при повышенных температурах фу-марол и следовательно являются способными с легкостью переноситься в газовом состоянии. Было найдено также, что свежая пемза и обсидиан содержат те же самые металлические составные части и часть содержания металлов в инкрустациях может происходить таким образом из песчаного потока. Тем не менее никакого значительного рудного тела вероятно не образовалось, так как металлические составные части и кислые воды быстро попадают в действующую систему дренажа долины и рассеиваются.

Несмотря на относительно малое количество кислых газов в паре, их общее количество огромно. Цис подсчитал, что приблизительно $1\frac{1}{4}$ млн. т хлористо-водородной кислоты и 200 000 т фтористо-водородной кислоты выделялось в долине Десяти тысяч дымов в атмосферу за один год (1919). По крайней мере три четверти этого количества должно было найти свой путь прямо в море. Одной хлористо-водородной кислоты достаточно, чтобы возместить 1% всего недочета хлора в речной воде по сравнению с морской; и фтористо-водородная кислота, доставленная одной долиной, могла бы возместить весь фтор в океане за период в 8 млн. лет. Следовательно, во все геологическое время вулканические газы должны были доставить в значительной мере составные части солей океана и морских отложений.

Непосредственное происхождение последнего взрыва Катмаи и вулканических явлений долины Десяти тысяч дымов следует приписывать охлаждению и вероятно идущей кристаллизации магматического тела, или тел у корней вулканов в этом районе. Вопрос происхождения будет рассматриваться подробнее в следующем описании подобного, но менее сильного извержения вулкана Лассен Пик. В прошлом алеутские вулканы и вулканы Аляски извергали относительно основные лавы. А то обстоятельство, что последнее извержение Катмаи дало очень кислую риолитовую лаву, является указанием, что кристаллизация и дифференциация далеко подвинулись в магматическом теле или телах, непосредственно залегающих под районом Катмаи.

Западная область США, между Скалистыми горами и берегом Тихого океана, представляла театр сильной вулканической деятельности в продолжение кайнозойского периода (рис. 19). Самым изумительным эпизодом было излияние огромного базальтового лавового плато р. Змеиной и р. Колумбии (стр. 170). Не очень многочисленные остатки более ограниченных центральных вулканов, которые извергали главным образом андезиты и риолиты, можно найти переслаивающимися с кайнозойскими осадками на всем пространстве западных штатов. Совсем в недавние геологические времена группа огромных вулканических конусов была образована в районе, проходящем через штаты Вашингтон, Орегон и прилегающую к ним часть Калифорнии и Айдахо. Линия больших вулканов включает г. Рейнер, г. Св. Еле-

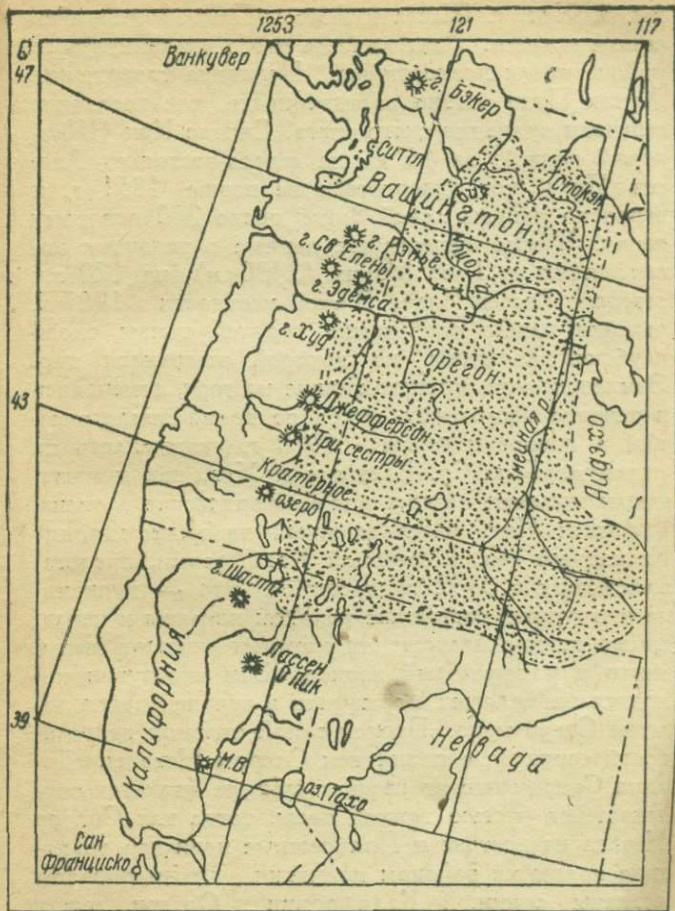


Рис. 19. Карта вулканов Каскадных гор.

Точками обозначена область, покрытая массовыми излияниями базальтов Колумбии. М. В. — Мерисвиаль Бьюттис.

ны, г. Худ, г. Шаста и Лассен Пик, являющийся самым южным. Деятельность этого вулканического района почти прекратилась. Недавние извержения Лассен Пика можно рассматривать, как последние вспышки вулканического очага. Синдер Кон (Шлаковый конус), за 16 км на северо-восток от Лассен Пика, мог извергаться не позже 1851 г. и вероятно покрыл лавой 8 км² около 200 лет тому назад. Также существуют данные о недавних извержениях на Глас Маунт (2400 м), на 120 км севернее Лассен Пика. В этой местности в 1927 г. лесники нашли слой очень горячей пемзы около глубокой трещины, из которой выделялся пар. Землетрясения, происходившие на горе, отмечались в течение нескольких лет, а во время землетрясений в январе и феврале 1910 г. указывалось на «пламя». Гора Св. Елены и г. Худ, как думают, имели тепловые извержения в исторические времена.

Лассен Пик, расположенный на южном конце Каскадных гор, в северной Калифорнии, представляет гору в 3192 м высотой. Это — вулканические руины, состоящие целиком из лавы и пепла, самые ранние извержения которых считают имели место в плиоценовый период. Эти экстрוזии происходят на меловых формациях в верхней части долины Сакраменто. Период самой сильной деятельности совпадал с поднятием Сиерры Невады. Долина Сакраменто по своей структуре является опустившейся частью земной коры, тогда как Сиерра Невада на востоке и Прибрежные цепи гор на западе являются районом поднятия. Таким образом вулканы северной Калифорнии и Орегон лежат в значительно ослабленной зоне земной коры.

Современный эруптивный фокус Лассен Пик находится около центра и является самым высоким пунктом древнего большого конуса, от которого теперь остались только развалины. Самыми ранними лавами были роговообманковые андезиты а ряд последующих извержений дал пироксеновые андезиты, риолиты, дациты, базальты и наконец кварцевый базальт. Теперешний конус построен из плотного дацита (=кварцевый андезит. Даци́т от Дакия=Венгрия) густой вязкой лавы, родственной лаве Мон-Пеле. Известные извержения 1914—1917 гг. в результате также дали дацитовую лаву и пепел.

Лассен Пик был в состоянии покоя повидимому в течение 200 лет. Ховел Вильямс описал одно необыкновенное извержение, которое имело место на Кейос Джамблес (хаотические нагромождения), в нескольких километрах на север от Лассен Пика, лет 200 тому назад. Кейос Джамблес, как показывает название, представляет чрезвычайно неровное пространство местности, покрытое потокообразными вулканическими брекчиями, в которых сочетаются некоторые черты сухих горных и настоящих грязевых потоков. Материал состоит из угловатых глыб дацита и происходит из экструзий выпяченных полузастывших масс типа Мон-Пеле, которые были разорваны взрывом и отброшены подобно лавине, на более ранний слой тонкого туфа вместе с обильным паром. Конденсация пара, подобно дождю, превратила туф в грязь, которая послужила смазочным веществом между глыбами и была причиной потокообразного движения всей массы.

Взрыв 30 мая 1914 г. на вулкане Лассен Пик произошел без предупреждений: не было ни землетрясения, ни поднятия температуры и возрастания деятельности соседних горячих источников. Взрыв пара вместе с пеплом, замеченный многими наблюдателями, имел место из вершинного кратера, который был погребен в глубоком снегу. На следующий день лесники нашли небольшой выход, образовавшийся от взрыва, в 12 м длины и около 7 м ширины, с двумя трещинами, расходящимися на восток и запад от воронки длиной в 30 м или больше. Взрыв сопровождался выделением пара и было видно, как потоки воды из тающего снега сбегали в воронку взрыва и в трещины. Подобные взрывы продолжались с интервалами нескольких дней в течение лета и осени, постепенно увеличиваясь в продолжительности и интенсивности. Некоторые взрывы продолжались от 4 до 5 часов и образовывали черные облака, наподобие каменной сосны, которые поднимались на 4500 м над кратером. Тем временем выход, образовавшийся от взрыва, увеличивался в размере до тех пор, пока он фактически целиком не занял место старого кратера. Есть серьезные основания думать, что все извержения 1914 г. были типом извержения водяного пара с ничтожным количеством, если только они были, более химически активных газов, чем пар, и без появления свежей лавы. Однако, выбрасывались также и раскаленные докрасна глыбы из кратера.

Кульминационный пункт взрывной деятельности наступил в мае 1915 г. и в течение трех дней происходили ужасные взрывы, во время которых

154

выбрасывалось на 8000 м вверх над вулканом облако пепла, а куски по несколько сантиметров в диаметре, были отброшены на 16 км. Во время этого взрыва пробка старой лавы, образующая дно кратера, была медленно выдвинута, по крайней мере на 90 м и остановилась на уровне краев кратера. Сила, находившаяся за ней, очевидно была недостаточна, чтобы снести конус и освободить лаву из-под нее. В это время было только единственное достоверное наблюдение отблеска раскаленных докрасна масс: некоторые наблюдатели извержения заметили, что облако над кратером было освещено красным светом. Цвет, описанный как темнокрасный, указывает на температуру не выше 750° . Один наблюдатель видел, как раскаленный докрасна материал, повидимому, перелился через западную выемку в крае кратера, но последующее исследование не обнаружило никаких признаков строения потока в лаве, выполняющей эту выемку. Таким образом то, что видели, была вероятно раскаленная докрасна, но твердая пробка лавы, от которой, по мере того, как она медленно выдвигалась, откалывались пластичные раскаленные докрасна обломки и скатывались вниз по склону горы. Более позднее исследование показало однако, что большой объем лавы вылился через восточные ворота кратера, и что этот поток был гораздо пластичнее, чем поток на западной стороне. Потоки грязи, упомянутые ниже, может быть отчасти или всецело получились в результате этого извержения.

Давление пара под пробкой уменьшилось вследствие двух необыкновенных горизонтальных взры-

вов 19 и 22 мая, которые произошли в горизонтальном направлении с северо-восточной стороны кратера. Эти взрывы сравнивали с землей лесá на протяжении больше чем 6,5 км в долинах Хэт-Крик и Лост-Крик и создали разрушительные грязевые потоки. Местами оказалось, что деревья лежат параллельными рядами на протяжении почти 3 км, и вершины их одинаково были направлены в сторону, противоположную от кратера. «Теперь вполне возможно проехать верхом по этим улицам параллельных стволов, лежащих вытянутыми точно в одном направлении, причем на это должна была быть затрачена сила, которая не различала маленькие деревца в несколько дюймов и самые старые гиганты леса» (Дей и Аллен). На некоторых деревьях кора была содрана со стороны, обращенной к вулкану, и обнаженная древесина была пронизана тонким песком, который в некоторых местах проник до 2 см в глубину. Деревья на пути происшедших грязевых потоков были сметены в беспорядочные массы, и лесничество считало, что уничтожено 1,5 млн. м лесного материала, который стоял на Лост-Крик. Листва на деревьях по краям опустошенной площади была опалена порывом газов от взрыва, и вне области разрушения, где взрыв проявил свою силу, листья побурели на расстоянии $\frac{3}{4}$ км или больше. Обугливания однако не произошло, и нигде не возникло лесных пожаров вследствие взрыва; таким образом мы здесь опять имеем убедительные доказательства сравнительно низкой температуры этого извержения.

Большой взрыв в мае 1915 г. был кульмина-

ционным пунктом извержения, после чего вулкан вошел в период постепенного уменьшения энергии, прерываемой спорадическими взрывами, но не такой значительности, как были в 1915 г. В 1916 г. наблюдалось несколько слабых взрывов, и заключительное извержение этого периода деятельности вулкана имело место в мае 1917 г. почти точно через три года после первого взрыва.

В пределах Лассенского национального парка существует по крайней мере восемь групп горячих источников, линии которых кажутся продолжением двух пересекающихся трещин. Самая большая группа Бумпас-Хел (Bumpas Hell) на 3 км южнее Лассен Пика занимает кратероподобный бассейн с диаметром в 430 м (максимальный) и 150 м (минимальный). Отдельные лужи могут меняться в диаметре от 15 м до совершенно незначительных размеров. Они включают бьющие источники (т. е. такие источники кипящей воды, в которых струи могут выбрасываться через неправильные промежутки), спокойные горячие источники, грязевые ключи, грязевые котлы и фумаролы; но настоящих гейзеров внутри парка нет, хотя один находится тут же, около его границы.

В температуре источников имеют место значительные изменения. Большинство источников — горячие, и многие близки к точке кипения, отвечающей этой высоте над уровнем моря ($91-95,5^{\circ}$). Другие являются только теплыми или в редких случаях совсем холодными. В 1916 г. одна бурная, выделяющаяся с шумом фумарола в Бумпас-Хел, имела самую высокую температуру $117,5^{\circ}$, но другие фумаролы имели температуру, равную

кипящей воде на соответствующей высоте. Даже в самых больших источниках приток совсем не велик и многие, повидимому, совсем не выливаются. Имеется большое разнообразие в отношении уровня и объема воды, и с приближением лета некоторые грязевые котлы высыхают. От уменьшающегося притока воды температура часто поднимается, горячие источники становятся кипящими, а кипящие делаются бьющими струей источниками. Единственным удовлетворительным объяснением этих сезонных изменений в притоке воды и температуры является то, что большое количество воды здесь поверхностного происхождения.

То, что часть воды магматического происхождения, доказывается впрочем фактом, что газы, состоящие главным образом из углекислоты, с небольшим количеством азота, аргона, сероводорода, метана и водорода выделяются в сравнительно одинаковом количестве из источников и фумарол по всему району. Отношение, существующее между компонентами атмосферного и магматического происхождения, в источниках Дей и Аллен оценивают как 9 к 1. Хотя летучие составные части, исключая воды, считают целиком магматическими, содержание минеральных частей в водах, которые составляют только 1600 частей на миллион или меньше, можно думать вызвано разложением окружающих горных пород серной кислотой, которая образовалась при окислении магматического сероводорода. Источник тепла в ключах считают полностью магматического происхождения, и причиной его является присутствие одного или нескольких очагов горячей магмы на некоторой глубине под

землей, которые питают вулканическую деятельность также и самого Лассен Пика.

Особенностями вулканического эпизода на Лассен Пике в 1914—1917 гг., которые необходимо объяснить, являются преобладающие низкие температуры во время всего его действия, преобладание пара в газах и его большое абсолютное количество, горизонтальные взрывы паров, перегруженных пеплом, ассоциированные с выступанием центральной лавовой пробки и очень небольшое количество лавы, при температуре только красного каления. Эти черты указывают прежде всего, что извержения 1914—1917 гг. смогут быть объяснены, как заключительные спазмы древнего и умирающего вулкана. Многочисленные облака наподобие цветной капусты состояли из пара, насыщенного пылью, почти совершенно свободные от серы или других химически-активных веществ, которые могли бы произвести тепло от взаимной реакции. Только во время одного извержения, которое происходило 19 мая 1915 г., было доказано красное раскаливание внутри кратера, и это было в то самое время, когда появилось выделение лавы. Экструзии были из чрезвычайно густой вязкой магмы при самой низкой температуре, при которой только может двигаться лава.

Магматическое тело в корнях Лассен Пика должно обладать поэтому невысокой температурой и вследствие этого находиться в состоянии зашедшей далеко кристаллизации. Кроме того оно должно быть способным выделять большое количество пара, как это показывают наблюдения более 300 взрывов за время извержения с 1914—1917 гг.

Вопрос таким образом заключается в том, как может магматическое тело в состоянии подвинувшегося далеко охлаждения и кристаллизации производить такие большие объемы пара. В связи с этим надо вспомнить, что Лассен Пик расположен в районе значительного выпадения осадков, так что вершинный кратер едва ли когда-нибудь освобождается от глубокого снежного покрова, и что большое количество воды от таяния снега, как это наблюдалось, проникало в трещины, образовавшиеся при первом взрыве. Поэтому возможно и даже вероятно, что значительное количество метеорной воды нашло доступ к магматическому очагу и увеличило количество ювенильной воды, уже находившейся в магме.

Смеси силикатов, какими являются магмы горных пород, как хорошо известно, способны абсорбировать большое количество воды. Лабораторный опыт показал, что смеси, богатые кремнеземом, могут поглощать от 10 до 15% воды, когда они находятся в расплавленном состоянии под давлением. И хотя кристаллические породы в среднем содержат не больше 1,5% воды, однако стекловатые породы, вроде цехштейна и обсидиана, которые представляют магмы, закаленные при крайне быстром остывании и которые поэтому удерживают более значительную часть их летучих компонентов, содержат от 5 до 10% воды. Таким образом в процессе кристаллизации магма должна сама освободить больше, чем 80% своей воды, и если эта вода освобождается внутри раскаленной замкнутой магматической камеры, должно развиваться огромное давление пара. Это быстрое возрастание давления

при кристаллизации силикатных расплавов, заключенных в замкнутый сосуд, было доказано опытами над силикатными смесями и водой в бомбах. Добавление метеорной воды в магматический бассейн во время кристаллизации будет оказывать действие, уменьшая вязкость сплава и увеличивая скорость кристаллизации. При этих обстоятельствах можно ожидать быстрое возрастание давления пара.

Произойдет ли извержение в результате этих процессов — это зависит от величины давления пара по сравнению с прочностью вулканической постройки. Последняя может быть достаточно прочна, чтобы противостоять самому большому давлению пара, какое может развиться, и тогда извержения не произойдет. Если в конусе появляются разломы и трещины вследствие землетрясений или других причин, пар может найти выход в этих слабых пунктах и вызвать ряд взрывов. Далее, давление пара может действовать на пробку древней лавы, которая заполняет жерло вулкана и выталкивает ее медленно вверх, подобно пробке в нагретой бутылке с газированной водой. Магматическая пробка может быть просто экструдирована, как на Мон-Пеле и Лассен Пике с образованием боковых трещин, через которые могут вырваться раскаленные тучи или горизонтальные взрывы пара; или давление пара может накопиться в таком количестве, что оно снесет пробку и вершину конуса вдребезги, как в Папандаянге, Бандай-сане и многих других вулканах. Ховел Вильямс доказал, что «экструзии куполов, являющихся подобными магматическими пробками, представляют характерный способ извержения в районе вулкана Лассен

Пик. На площади 130 км² здесь имеется не меньше 30 куполов, состоящих главным образом из стекловатого дацита. Самым крупным является сам Лассен Пик, возраст самого молодого всего 200 лет».

Короче сказать, Лассен Пик представляет древний вулкан, достигший конечной стадии извержений. За свою долгую жизнь вулкан извергал последовательный ряд различных лав: андезитов, риолитов, базальтов и дацитов. Находящаяся внизу магма прошла целую гамму дифференциации и теперь она почти целиком кристаллическая. Давление пара, которое вызвало недавнее извержение, произошло при выделении летучих составных частей из магмы во время кристаллизации в замкнутом очаге. Небольшие сбросы вследствие землетрясений, которые позволили снеговой воде достигнуть до магматического очага, ускорили как думают процесс кристаллизации, увеличив таким образом внезапно давление пара, и «спустили курок» извержения.

Механизм извержения на Катмаи был вероятно такого же рода, но магма Катмаи, как это видно по относительному обилию кислых газов и по многочисленным указаниям преобладающих высоких температур, явно находится на более ранней стадии эволюции, чем магма Лассен Пика.

Глава VII

КОРНИ ВУЛКАНОВ И ДРЕВНИЕ ВУЛКАНЫ

Корни вулканов можно изучать только в том случае, когда источники вулканической деятельно-

сти будут обнаружены благодаря работе продолжительной и глубокой эрозии древних вулканов. Как правило вулканы, или по крайней мере вулканические конусы недолго переживают потухание их очагов. Вулканические постройки, в которых пепел является значительной составной частью, представляют относительно слабое и недолговечное строение. Как только созидательный процесс прекращается и наступает угасание или даже во время длинных периодов покоя, силы эрозии работают над конусом, быстро его сносят, и в сравнительно короткий промежуток времени остаются только обломки, собирающиеся у его основания.

В вулканах мы можем различать поверхностное строение или *суперструктуру*, образованное лавами и пеплами последовательных извержений вместе с теми пронизывающими их интрузиями, какие могут присутствовать, подземное строение или *субструктуру*, охватывающую область земной коры между корнями вулкана и земной поверхностью, и *вулканический очаг* или фокус, из которого происходят вулканические явления (рис. 27). Эти части последовательно обнаруживаются эрозией. В многочисленных районах недавно угасшей вулканической деятельности суперструктуры вскрываются во всех стадиях разрушения. Некоторые сохраняют следы своих кратеров и недавно извергнутую лаву и пепел. В более древних вулканических центрах поверхностное строение может быть совершенно разрушено, и остаются только удаленные от его центра, благодаря случайности в особенностях геологической структуры, следы, так например, когда края конуса погребены под осадочными породами.

Твердая компактная лавовая пробка, которая окончательно заполняла центральную воронку, может сохраться и выступать, как выдающийся холм или гряда скал, которая в миниатюре может быть подобием первоначальных конических очертаний вулкана (рис. 22, 27). Затем дайки и другие интрузии, которые пронизывают строение, прослеживаются даже после продолжительной эрозии. Более глубокая эрозия может в свою очередь снести поверхностную структуру вулкана и обнаружить большие вулканические камеры, в которых заключался источник вулканических явлений. Из расположения различных элементов подземной структуры и из остатков поверхностного строения часто возможно реконструировать исчезнувший конус и установить главные черты его истории.

Превосходный пример реконструкции и формы вулкана был недавно дан Ховелом Вильямсом для Мерисвиль Бьюттис в Калифорнии. Современный разрез этого вулканического центра изображен на рис. 20, Е. История вулкана может быть прослежена на ряде разрезов (рис. 20, А—D). Первый, А, изображает серию меловых и эоценовых осадков, в неоценовое время в них была интродуцирована караваяобразная масса (лакколит) андезитового порфирита, при этом она их изогнула. Разрез В представляет купол, обнажившийся от покрывающих его осадков, благодаря позднейшей эрозии, причем обнаруживается вершина лакколита. Следующим эпизодом, изображенным на разрезе С, была инъекция ряда неправильных масс риолита, как в лакколит, так и в осадочные породы. Наконец взрывы паров, связанные с дальнейшими

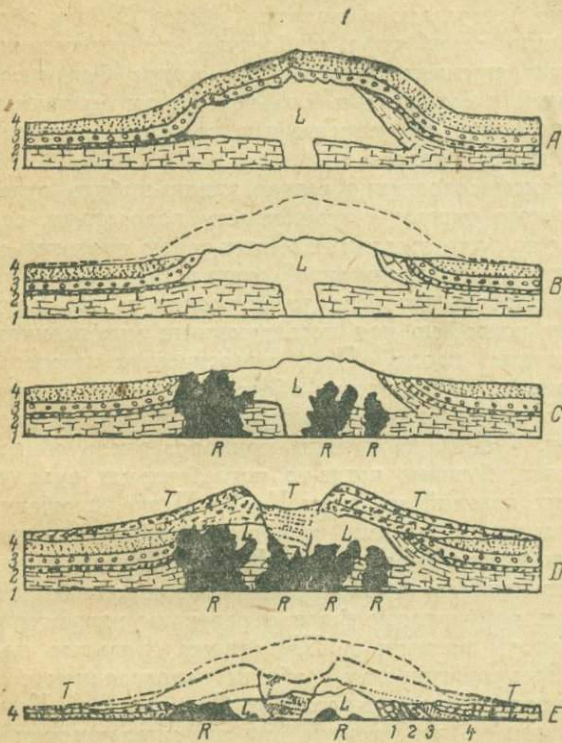


Рис. 20. Разрезы, изображающие стадии развития вулкана Мерисвилль, Бьюттис. По Ховелу Вильямсу.

1—4 меловые и воценовые осадочные породы; L — лакколит андезитового порфирита; R — интрузивные массы риолита; T — андезитовые и риолитовые туф и брекчия, образовавшиеся в связи с вулканом.

лакколитовыми интрузиями, привели к возникновению центрального вулкана (разрез *D*) и к образованию слоев туфа и брекчии на поверхности. С прекращением деятельности конус был снесен эрозией и сохранились только остатки брекчии по краям конуса и центральных кратеров, заполненных туфом (разрез *E*).

Шансы сохранения следов какого-нибудь вулканического эпизода значительно возрастают, если лавы из ряда связанных между собою вулканов образуют плато достаточной мощности. Такое строение хорошо сопротивляется эрозии и постепенно будет погребено под последующими накоплениями осадочных пород. При геологических процессах эрозии и образования сбросов древние лавовые плато могут опять оказаться на дневной поверхности. Одним из лучших примеров вновь обнаруженных, бывших когда-то погребенными вулканических явлений является Клайд Плато, сложенное базальтовыми лавами, которое образовалось в нижнекаменноугольное время. Клайд Плато представляет наиболее обширное из ряда подобных лавовых плато, которые были образованы извержениями этого времени в Шотландии. Большое поле Клайд протягивается с общим направлением с северо-востока на юго-запад от Стирлинга до Кампбелтауна на протяжении 135 км, имея ширину от Финтри до Спрэдхевена около 50 км. Таким образом первоначально оно должно было покрывать площадь свыше 5000 км² (рис. 21). Из цифр, которые дают Арчибальд Гикн и Геологическое учреждение Шотландии, средняя мощность плато должна быть около 450 м. Таким образом объем

лавы, изверженной во время образования Клайда Плато, должен быть около 2300 км³. Клайд Плато должно было быть покрыто позднейшими осадочными породами, которые теперь уничтожены эрозией. Оно выступает теперь в ряде холмов и

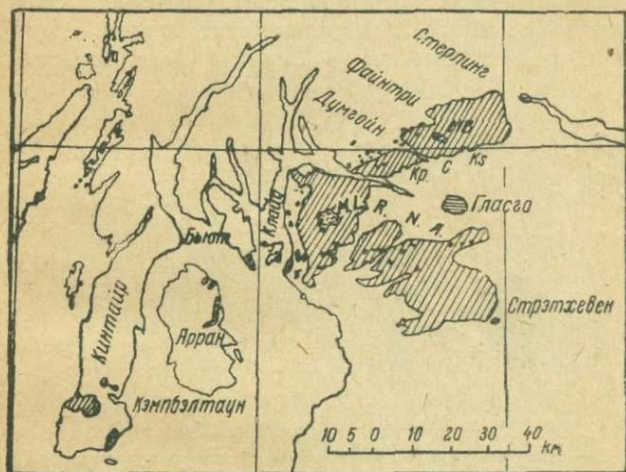


Рис. 21. Карта лавового плато нижнего карбона района Клайда, Шотландия.

R. N. A. — Renfrewshire — North Ayrshire Plateau; *Кр.* — Kilpatrick Hills; *C.* — Campsie Fells; *Ks.* — Kilsyth Hills. *M. L.* — Misty Law; *M. B.* — Meikle Bin — два самых широких вулканических выхода. Другие вулканические выходы (напр. Думгойн) показаны пунктиром.

обломков плато, известных под названиями Кэмпси Фелс, Кильпатрик Хилс, Килсит Хилс и т. д. Эти обломки плато, которые сильно разбиты сбросами, окружают город Глазго со всех сторон, кроме восточной,

Лавы Клайд Плато выливались из многочисленных небольших выходов, из которых около пятидесяти известны по его северной окраине между Гуроком и Ардросаном, на западе имеется 17 выходов аггломератов, и в районе северного Айршира и Ренфрюшира на юге к этому вулканическому эпизоду относят 22 вулканических канала. Думгойн на западном конце Кэмпси Фелс является

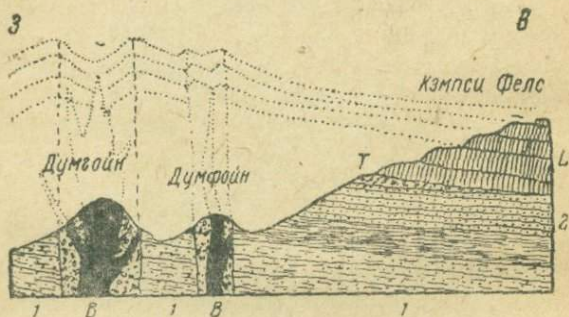


Рис. 22. Разрез через Думгойн и Кэмпси Фелс.

B — базальтовые пробки, проникающие аггломерат вулканических каналов; L — базальтовые лавы; T — слои туфа; 1 — верхний древний красный песчаник; 2 — нижнекаменноугольные сланцы, цементные мергели и песчаники. Реставрация древних вулканов показана пунктиром.

классическим примером вулканической жерловины (некка) или пробки (рис. 22). Думгойн и его сосед Думфойн — это цилиндрические массы аггломерата, которые неправильно пронизаны базальтовыми интрузиями. Они представляют размытые центральные каналы небольших конусов типа Везувия, извержения которых содействовали созданию соседнего плато Кэмпси Фелс.

Вулканические жерловины представляют повсюду характерные особенности древних лавовых полей. Исключительные образцы, напоминающие башни и замки и на самом деле иногда увенчанные древним замком или башней, встречаются в районе Оверни центральной Франции. Группы вулканических жерловин и пробок сравнительно недавнего возраста, находятся в районе горы Тэйлор в Новой Мексике. Профессор Грэгори назвал извержениями типа плато лавовые равнины и плоскогорья, подобные равнинам и плоскогорьям восточной Африки и Виктории, которые создались слиянием потоков и многочисленных небольших отверстий (рис. 27).

Было указано, что трещинные извержения в настоящее время встречаются только как небольшие явления центральных вулканов, особенно щитового типа. Доказательства в различных направлениях однако приводят к представлению, что трещины извержения играли главную роль в вулканической деятельности в начале современного вулканического цикла и в более отдаленные геологические периоды. Базальтовые лавы вылились в грандиозных размерах, сопровождаясь только незначительными взрывами и системами связанных с ними дайк, некоторые из которых следует рассматривать как питающие каналы потоков. Тут совсем нет признаков вулканических конусов, соизмеримых с размерами этих извержений. Изумительные излияния базальта покрывают площади порядка 500 000 км² и могут достигать в толщину сотни и даже тысячи метров. Естественно накопление относительно твердой горной породы, какой является базальт, очень

прочно и сохраняется в земной коре или на поверхности, свидетельствуя о вулканических событиях такой величины, которой они не достигают в настоящее время.

Самые молодые массовые базальтовые излияния—это излияния плато Колумбии, в США, которые занимают площадь свыше $500\,000\text{ км}^2$, главным образом в Вашингтоне и Орегоне (рис. 19). Район Колумбии первоначально был гористым, но в миоценовое время он был выровнен массовыми излияниями базальтовой лавы, и прежние горы представляются теперь в виде островов и полуостровов, выступающих из монотонной лавовой равнины. Река Колумбия и Зеленая река прорезали глубокие ущелья через равнины, обнажая местами почти всю мощность этих образований. Плато сложено из большого числа тонких, сливающихся, соединяющихся между собой потоков, между которыми встречаются шлаковые поверхности, тонкие слои пепла и слои озерных осадков. Предполагаемые питающие дайки, многочисленные и тонкие, редко достигают 50 м, а в среднем менее 10 м мощности. Вулканическая деятельность продолжалась почти до настоящего времени, особенно в Орегоне и Айдехо, с образованием совсем молодых на вид конусов и кратеров и свежих шлаковатых лавовых потоков. Общую мощность плато оценивают в 1000 м и известно, что местами она достигает по крайней мере 1500 м. Таким образом, общий объем излившейся лавы должен быть порядка $400\,000\text{ км}^3$. Огромные базальтовые плато приблизительно того же возраста, как плато Колумбии, находятся в Сирии и Аравии.

Другое огромное массовое излияние базальта это Деканское излияние на Индийском полуострове, которое занимает площадь около 650 000 км². Так как это образование имеет на Бомбейском берегу около 3000 м мощности и становится тоньше к востоку и северу, то считают, что оно имеет такое же обширное распространение в соседних погружившихся частях Индийского океана. Следовательно общая площадь его могла достигать 1 300 000 км². Это плато сложено из многочисленных горизонтальных потоков с прослоями пепла и осадочных пород. Около Бугавала в Бомбейском округе бурение встретило 20 отдельных потоков со средней мощностью в 12 м. Во многих местах по окраинам базальтового района встречаются дайки и другие интрузивные массы. Извержение повидимому произошло к концу мелового периода или вначале следующего за ним эоцена.

Базальтовые лавы Стормберга южной Африки, которые занимают площадь около 50 000 км² только в одном Базутолэнде и образуют большой горный обрыв Дракенсберга, рассматриваются Дютойтом главным образом как продукты трещинных извержений. Действительно найдено 150 вулканических каналов, и можно ждать, что будет открыто еще больше; но большая часть их заполнена распыленным осадочным материалом и никогда не изливала лавы, а остальные активные центры пронизывают только нижние базальты. Общая мощность плато повидимому около 1000 м, а отдельные потоки от 30 до 45 м толщины. Соответственные базальтовые экструзии образуют в восточном Трансваале хребет Лебомбо около 500 км длиной.

а также обширную площадь области вокруг водопадов Виктории в Родезии. Извержение этих огромных масс лавы вероятно происходило в начале юрского периода. Лавы Стормберга тесно связаны с интрузивными залежами долеритов Кару (стр. 184), и относительно небольшие размеры лавовых полей этого эпизода по сравнению с другими могут зависеть от того, что в значительной части вулканическая активность проявилась под землей.

В последние годы выяснилось, что совершенные аналоги лав Стормберга и долеритов Кару существуют в области Параны в Южной Америке. Базальтовые излияния здесь покрывают площадь свыше $750\,000\text{ км}^2$ с объемом $160\,000\text{ км}^3$. Они связаны интрузивными массами, которые встречаются на дальнейшей площади в 120 км^2 . Базальтовые лавовые плато того же возраста как и в южной Африке и в Южной Америке (средний мезозой), известны также и в Тасмании, Антарктике, Индии и на востоке США (серия Ньюарк).

Одно из древнейших массовых излияний базальта произошло в позднее докембрийское время в районе Верхнего озера в Северной Америке. Объем вулканического материала, изверженного в течение этого эпизода, оценивается в $80\,000\text{ км}^3$. Это излияние связано с системами больших интрузивных залежей в дайках (стр. 180) и с огромной подземной интрузией базальтовой магмы (лополиты, стр. 186), которые вместе с лавами принесли большую часть ценных медных, серебряных, железных и никелевых руд района Верхнего озера и Онтарио.

Наиболее подробно исследованный район ба-

зальтовых излияний представляет несомненно район Атлантического океана (рис. 23). Эти извержения происходили в эоценовое время

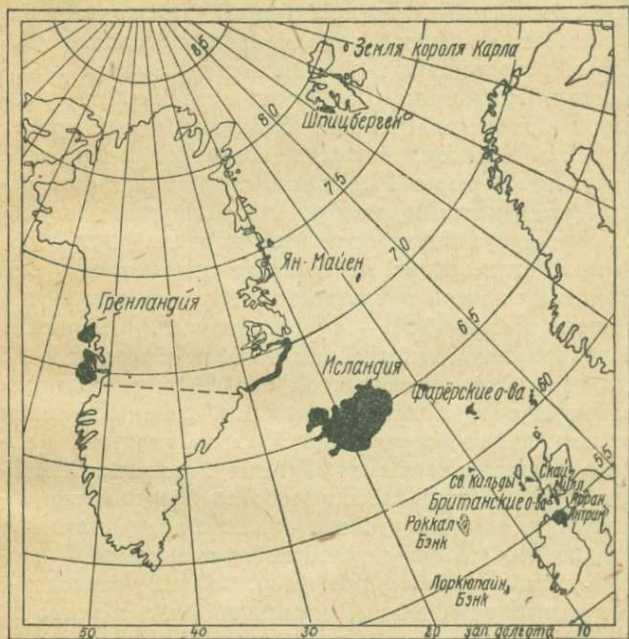


Рис. 23. Карта северо-атлантического района базальтовых излияний. По М. О. Пикоку.

или даже позднее и вероятно покрывали район, простирающийся от Антриша и Гебридских островов до Гренландии. Разломы и опускания частей этого огромного материкового плато при-

вели к образованию Северного Атлантического океана. Мы можем заключить о существовании Тулейского плато по обширным остаткам, состоящим из мощных нагромождений однородных базальтовых излияний с осадочными прослоями, которые встречаются в западной и восточной Гренландии, Исландии, Фарёрских островах, внутренних Гебридах и Антриме. Если подводный хребет Уайвиль-Томпсон, который соединяет Гебриды с Гренландией через Исландию, покрыт, как есть основание думать, базальтами, то обширная площадь излияния тулейских базальтов порядка двух с половиной миллионов квадратных километров. Обнаженные теперь поверхности однако составляют в общем только 150—160 тысяч км². Мощность базальтовых лав в среднем доходит более, чем до тысячи метров в каждом из вышеупомянутых районов, с отдельными потоками, изменяющимися от нескольких метров и до 30 м мощностью. Дайки в большом изобилии связаны с лавами; некоторые однако принадлежат к более поздним моментам эпизода. Трещинные излияния представляют только первую фазу тулейской вулканической деятельности, *региональную фазу*. За ней следовала, как мы увидим дальше, *локальная фаза*, в которую развились многочисленные щитовые вулканы и в которую дифференциация привела к образованию широкого ряда типов горных пород. Наконец следовала другая региональная фаза, которая однако была отмечена только инъекцией даек.

Происхождение базальтовых массовых излияний в форме трещинных излияний оспаривалось на основании трех соображений: 1) что лава вылива-

лась не прямо из трещин, но из ряда небольших вулканических конусов, расположенных на трещинах (Исландия, плато Колумбии); 2) что предполагаемые питающие дайки часто проходят через излияния и поэтому не могли быть каналами, по которым доставлялась лава (Гебриды) и 3) что обильные туфы и пеплы, которые должны были быть выброшены из центральных вулканических выходов, часто переслаиваются с потоками. Правда, эти небольшие конусы и кратеры часто находятся на трещинах, но они не могли быть выходом, откуда вылились столь обширные потоки лавы, и они не сохранили бы такое совершенство формы, в какой они так часто находятся. Наоборот они представляют замирающие фазы излияния, когда вследствие ослабления эруптивного импульса, трещина закупоривается, за исключением небольших отдельных пунктов, где будут образовываться небольшие центральные конусы. Эта последовательность явлений прекрасно иллюстрировалась при извержении Эляйка, на юго-западном склоне Мауна-Лоа, в котором огромные фонтаны били струями непрерывно на протяжении 300 м, подобно красной огненной стене. Подобное извержение имело место в той же самой зоне трещин в апреле 1926 г. Эруптивные трещины отмечаются рядом чашеобразных кратеров, часто эллиптических очертаний и вытянутых в направлении трещин, образовавшихся при разбрызгивании фонтанов в местах наиболее энергичного вытекания лавы.

В этом механизме нет ничего, что бы мешало широкому образованию слоев пепла, но во всех из-

вестных случаях продукты взрывов находятся в незначительном количестве по сравнению с продуктами, вылившимися при извержениях. Другой способ, при котором могут образоваться материалы взрывов при трещинном извержении, был описан Фуллером. Ряд удлиненных выходов, заполненных туфом и аггломератом, расположенный вдоль Змеиной реки у границы Вашингтона и Айдэхо, произошел, как он указывает, при соприкосновении на глубине трещинных базальтов с пропитанными водою песками, отчего произошли взрывы водяного пара. Думают, что взрывные извержения Килауэа произошли при опускании лавы ниже уровня воды расположенных ниже пород.

Правда, что дайки часто пересекают базальтовые потоки, и на западе Шотландии несомненно существует ряд даек, которые инъецированы в более поздний период, чем период массовых базальтовых излияний. Однако здесь имеются также более ранние дайки такого же петрографического характера, как потоки, и их можно рассматривать как питающие каналы, хотя в этом районе не было доказано действительной их связи. Можно указать, что если дайки являются питающими каналами, они должны проникать в более древние базальтовые слои, чтобы доставлять лаву для более поздних потоков, но они могли быть тем не менее современными базальтовому массовому излиянию. Лавы так хорошо прикрывают и скрывают свои основания, что всегда будет трудно доказать непрерывность дайки с потоком. [Фуллеру однако удалось указать такое место, благодаря прекрасному разрезу реки Рокрик в западной Айдэхо, где

видна вертикальная трещина, заполненная базальтом, которая непрерывно сливается с горизонтальными потоками с обеих его сторон. В. Т. Ли также картировал и описал прекрасный пример в каньоне Вильямса в Колорадо, где базальтовые излияния в 250 м мощности и покрывающие 300 км² имеют хорошо обнаженную питающую дайку в 120 м толщиной.

Для Тулейской провинции, в западной Шотландии, в северо-восточной Ирландии и в Исландии характерно развитие местных центров извержения, где, во-первых, на платформах массовых базальтовых излияний образуются лавовые купола гавайского и исландского типа и, во-вторых, на глубине происходит дифференциация; так что получается широкий ряд типов горных пород, включая даже гранит. Они инъецированы в корнях вулканов и теперь обнажаются на дневной поверхности в результате глубокой эрозии. Главные вулканические центры в Британской части провинции в порядке с севера на юг находятся на островах Скай (горы Кулин и Ред Хилс), Руи, Арднамерчан, Мулл, Арран (два центра, может быть третий в Элиза Крей); горы Морн, Слайв-Гульен и Карлингфодские горы в северо-восточной Ирландии. Дальше на запад в Атлантическом океане имеются центры Рокал, Сент-Килда и Поркупайн Бэнк (рис. 23). Некоторые из этих центров теперь подробно исследованы, и доказано, что они имеют сложную структуру и сложную историю.

В вулканических центрах Скай, Мулла, Арднамерчана, Аррана и гор Морна, а также в значительно более древних очагах вулканизма в Глен-Ко

и Бен-Невис описано замечательное строение под названием интрузивных конических слоев и кольцевых дайк. Интрузивные конические слои (рис. 24) представляют совокупность наклонных дайкоподобных масс, которые искривляются, давая концентрические выходы на поверхности и падают внутрь под углами от $30-40^\circ$ к общему центру.

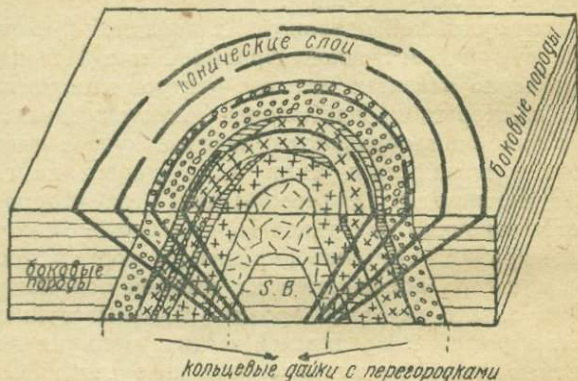


Рис. 24. Диаграмма, показывающая идеальное строение кольцевого комплекса кольцевых дайк и конических слоев в плане и разрезе. По Ричею.

S. B. — предполагаемый опустившийся блок вмещающих пород.

При полном развитии кольцевые дайки обнажаются в виде замкнутого кольца. Они или вертикальные или падают наружу под крутыми углами. Кольцевые дайки могут располагаться концентрическими сериями с перегородками из вмещающей породы, разделяющими отдельные члены серий. Интрузивные конические слои и кольцевые дайки

были объяснены Андерсоном как результаты или возрастания или убывания магматического давления на кровлю магматического резервуара (рис. 24). Конусообразные трещины, наклоненные внутрь, будут развиваться в лежащих сверху породах, когда магматическая колонна медленно прорабатывает свой путь вверх. С другой стороны, если магматическая колонна оседает, и давление уменьшается, будет возникать стремление кровли провалиться вдоль кольцевых трещин, которые будут иметь общий наклон наружу. В том и другом случае трещины будут открытыми или будут развиваться в тех плоскостях, куда расплавленный материал получит легкий доступ. Скай, Мулл и Арднамерчан доставляют наиболее совершенные примеры такого строения.

Специальный случай кольцевой интрузии представлен в Глен-Ко и Бен-Невис, где более или менее цилиндрические блоки осели в магматический резервуар, а расплавленная порода хлынула в дугообразно очерченные трещины (рис. 25). Большая котловина оседания, которая образовалась на поверхности, была частично заполнена продуктами небольших вулканов, которые выросли по окраине опускания. Такие черты были давно снесены денудацией в районе Глен-Ко, но современный исландский пример, котловина Аскья с ее краевыми вулканами, изливающими лаву в большую впадину опускания, почти точно отражает условия на поверхности, изображенные на рис. 25.

Выше было указано, что вторая региональная фаза сменяется описанной выше локальной фазой в кайнозойских изверженных центрах запада Шот-

ландии. Интрузии дайка сопровождали каждую из двух предыдущих фаз деятельности, но третья и конечная фаза характеризуется подавляющим преобладанием этого рода инъекции. Дайки представляют интрузии магмы в более или менее вертикальные трещины, которые пересекают слоистость

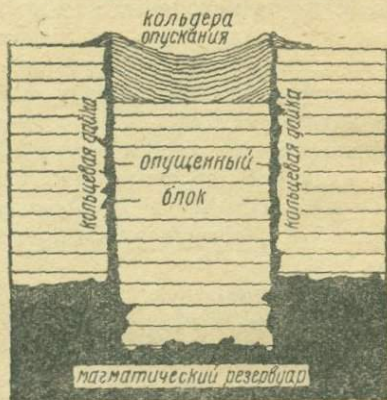


Рис. 25. Диаграмма, изображающая тип кольцевой интрузии Глен-Ко.

или другие структурные особенности пород, в которые они вторгаются (рис. 27). Дайка таким образом образует узкую вытянутую стену изверженной породы с параллельными боками, которая может выдаваться над поверхностью почвы вследствие ее сопротивления эрозии (отсюда название по-шотландски дайка — стена из дерна или камня) или может образовать канаву, когда она меньше сопротивляется разрушению, чем окружающая по-

рода. Мощность может изменяться от нескольких сантиметров до сотен метров, но огромное большинство дайк вероятно меньшей мощности, чем 3—4 м. Подобным образом длина дайки может меняться от нескольких метров до нескольких километров. На западных шотландских островах дайки насчитываются тысячами.

Чаще всего дайки встречаются в виде серий или систем, в которых они могут быть все параллельны одному направлению или могут расходиться радиально из одного центра (рис. 26). Радиальные системы всегда связаны с центральными вулканами, как например в округе Чевинот на шотландско-английской границе, где дайки располагаются радиально около центрального массива гранита девонского возраста. Подобно этому очень совершенные радиальные системы дайк встречаются вокруг гранитных центров Крэзи, в Монтане и в округе Спаниш Пикс (Испанские вершины), в Колорадо. С другой стороны параллельные системы могут быть связаны или с региональными или с центральными извержениями. Так, большая система северо-северо-восточных дайк сопровождает центральное

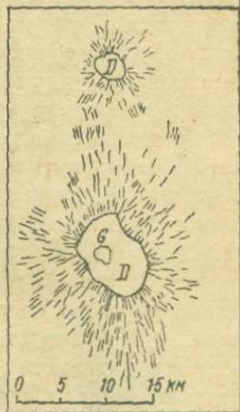


Рис. 26. Радиальные системы жил. Горы Крэзи, Монтана, США
Д и G — интрузивные штоки диорита и гранита.

извержение девонского возраста в Лориском районе Шотландии (Бен Круачан, Глен-Ко, Мурр-оф-Ранноч и Бен-Невис).

Ряд систем дайк, идущих с общим направлением с северо-запада на юго-восток, сопровождает местные центры кайнозойской вулканической деятельности на западе Шотландии. Хотя дайки концентрируются главным образом в соседстве вулканов Ская, Арднамерчана, Мулла и Аррана, они продолжают, будучи впрочем менее густо распределены, в районы, удаленные от центров извержения. Так система Мулла продолжается через Аргильшир, Ренфрюшир и Айршир в юго-восточном направлении и наконец соединяется с огромной единственной системой дайк пограничной области и севера Англии. Система Аррана начинается на западном берегу Айлей, достигает своей наибольшей концентрации в соседстве вулканических центров Аррана и замирает на южном берегу Айршира.

Дайки указывают на региональное растяжение в земной коре внутри площади вулканической деятельности. Открытие трещин и инъекция в них магмы являются совместными эффектами одной и той же причины, именно медленного подкорового движения пластического или расплавленного материала, которое вызывают растягивающие односторонние усилия в налегающей сверху твердой коре. Инъекция системы дайк Мулла представляет растяжение земной коры на захваченном ими районе в один километр на 26,4 км или на 3,8%. Соответствующие цифры для системы дайк Аррана составляют километр на 14,4 км, или 7%. Эванс думает, что это растяжение вызвано медленным пе-

ремещением блоков земной коры в западной Европе вследствие течения пластического субкорового района на юго-запад в сторону больших глубин Атлантического океана.

Дайки, интрузивные конические слои и вулканические пробки представляют дискордантные интрузии, т. е. они пробиваются через структурные плоскости пород, в которые они вторгаются. Нам надо теперь коснуться группы конкордантных интрузий: интрузивных залежей, лакколитов и лополитов, в которых инъекция расплавленного материала направляется в общем параллельно плоскостям наложения пород.

Интрузивные залежи представляют сравнительно тонкие таблицеобразные слои магмы, которые проникли вдоль приблизительно горизонтальных плоскостей наложения (рис. 27). Они могут изменяться по мощности от нескольких дециметров до сотен метров. На значительном расстоянии их верхние и нижние поверхности могут быть приблизительно параллельны, но так как они стремятся утоняться на некотором расстоянии, то их действительные очертания являются плоскими, чечевицеобразными или блинообразными. Интрузивные залежи распространяются по слоям в зависимости от гидростатического давления, под которым они инжецируются, от веса глыбы слоев, которую им приходится приподнимать для того чтобы создать себе пространство, и от степени подвижности, которая в свою очередь зависит от состава и температуры магмы. Так как основные магмы более жидки и подвижны, чем кислые, то наиболее растянутые интрузивные залежи обыкновенно состоят

из таких типов пород, как долерит. В большинстве случаев интрузивные залежи питаются из дайк, и одна и та же дайка, поднимаясь по ослабленной плоскости, может дать две или больше интрузивных залежей.

Залежи однако могут пробиваться через плоскости наслоения и снова продолжать свой путь на более высоком уровне (рис. 27). Некоторые из лучших примеров интрузивных залежей Великобритании представляют интрузии кварцевого долерита севера Англии и долины Мидланд в Шотландии. Самая обширная из них — это так называемая Великая уинская интрузивная залежь (Great Whin Sill), которая занимает площадь почти 4000 км² в северных районах Англии.

Огромные серии интрузивных залежей сопровождают в некоторых районах излияния базальтовых покровов, как например в районе Кару в южной Африке и в меньшем масштабе на восточном Шпицбергене и на Земле Франца-Иосифа. В Кару слои пронизаны интрузивными залежами на площади, которую Дютуйт оценивает по крайней мере в 570 000 км². Интрузии так обильны, что составляют от 15 до 25% стратиграфической колонны этого района. Мощность отдельных интрузивных залежей колеблется в общем от 15 до 150 м, но массы свыше 600 м мощностью известны в Натале. Подобным же образом Бэкер оценивает в районе Параны, считая, что по крайней мере 195 000 км² страны за пределами площади, покрытой излияниями базальтов, инъецированы долеритовыми интрузивными залежами. Эти колоссальные системы интрузивных залежей, вместе

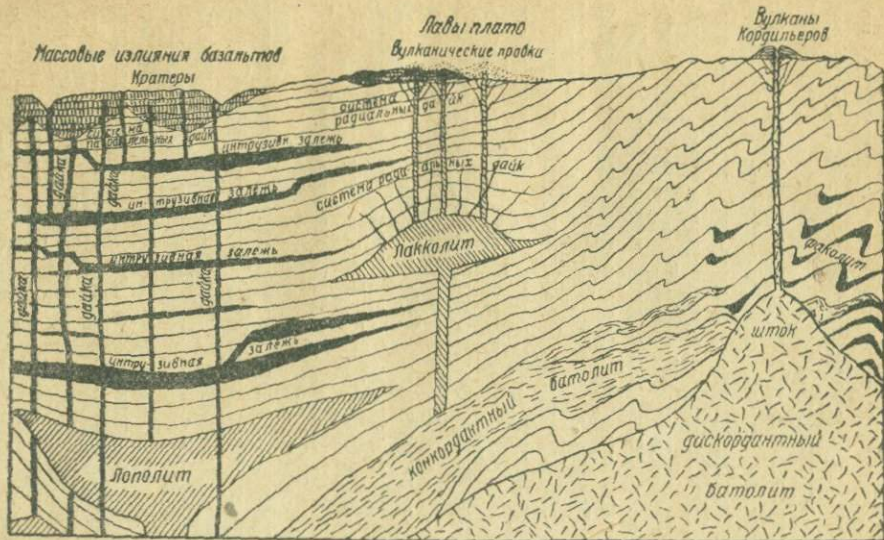


Рис. 27. Диаграмма, изображающая очертания и геологические отношения интрузивных и экструзивных изверженных пород.

с лополитами (см. ниже) ясно представляют подземные проявления вулканической активности, которая вызвала появление базальтовых массовых излияний на поверхности.

Когда таким же образом между слоями инъецируется кислая магма, она, вследствие ее большой вязкости, не проникает далеко от пункта ее внедрения. Она скорее имеет стремление нагромоздиться над питающей дайкой, приподнимая лежащие сверху слои в виде дуги или купола и образуя караваеобразную массу с плоским основанием и куполообразным верхом (рис. 27). Извержения массы такого характера были названы *лакколитами* (греческое лаккос — цистерна) Гильбертом в его классической работе о горах Генри в Юта. Настоящие лакколиты представляют сравнительно небольшие тела, обыкновенно не более нескольких километров диаметром. Объем горы Гиллера, самого большого лакколита в горах Генри, оценивается Гильбертом в 40 км^3 . В плане он почти круглый с диаметром 6,4 км и достигает наибольшей мощности в 2100 м.

Две огромных интрузии основных изверженных пород встречаются в районе Великих озер Северной Америки в связи с докембрийскими массовыми излияниями базальтов Верхнего Озера (стр. 172). Они отличаются от лакколитов своими несравненно большими размерами, своими очертаниями и чашеобразным оседанием подстилающих их пород. Эти массы были названы Граутом *лополитами* (греческое лопас — бассейн, чаша), по их опущенной в центральной части бассейнообразной форме. Типичный пример представляет масса габ-

бро¹ Дьюлюс в Миннесоте, которая имеет поперечник в 240 км и максимальную мощность в 15 000 м, ее обнажения занимают площадь около 40 000 км² и объем считают порядка 200 000 км³. Знаменитое никеленосное габбро Сёдбери в Онтарио образует также лополит и того же самого возраста как массив Дьюлюс. Внутри этих огромных масс магмы процессы дифференциации имели широкие возможности действовать в полном своем объеме, в результате чего лополиты обыкновенно содержат большое разнообразие типов изверженных пород, происшедших из родоначальной габбровой магмы. Лополиты гораздо меньших размеров, но все же значительные встречаются в Натале, в связи с интрузивными залежами долеритов Кару и лавами Стормберга. Огромная Бушвельдская интрузия Трансвааля, занимающая овальную площадь в 450 км в длину и 240 км в наибольшую ширину и состоящая главным образом из основных глубинных изверженных пород, также вероятно представляет лополит.

До сих пор мы имели дело с интрузивными телами, которые находятся в частях земной коры, избежавших сильной складчатости и смятия, характерных для горных областей, какими например являются Альпы. Интрузивные залежи, лакколиты и лополиты обыкновенно находятся в более или менее горизонтальных слоях, большей частью не подвергавшихся складчатости, но часто развитых вертикальными трещинами, вызванными рас-

¹ Габбро представляет глубинный крупнокристаллический эквивалент базальта.

тяжением (рис. 27). Интрузии, встречающиеся в районах складчатых гор и связанные с образованием последних, сильно отличаются от этих интрузий. В этих районах горные породы очень сжаты и изменены, здесь возникло сложное строение, плоскости трещин неправильны, прерываются и закупорены измельченным материалом. Следовательно правильным интрузивным формам трудно в них образоваться. Таким образом главная характерная черта интрузий в складчатых горах — их крайняя неправильность формы. Они могут несколько приближаться к правильности по краям горных хребтов, где складчатость может быть сравнительно слабой. Дайки и вулканические пробки могут находиться, прорезывая сложенные в складки породы, так же как и не складчатые.

Наиболее правильные интрузивные формы в складчатых районах представляют факолиты (греческое факос — чечевица), которые являются двояко-выпуклыми, линзообразными массами изверженной породы, которая заполняет пространства такой формы, возникающие во время процесса складчатости в перегибах складок (рис. 27). Большинство факолитов сравнительно небольших размеров. Наиболее крупный лакколит габбро, описанный Т. Фогтом, около Сулительмы в северной Норвегии, обладает наибольшей шириной 8,5 км и в длину непрерывно изверженное тело имеет 32 км или 40 км, если принять в расчет оторванные от него части. Его общая площадь составляет 270 км² и наибольшая мощность свыше 4000 м. Этот факолит замечателен тем, что его центральная часть ненормально утолщена, так что

метаморфизм, который сильно сказался в более тонких краевых частях, изменив породы в рогово-обманковые сланцы, не смог воздействовать на утолщенную центральную часть, которая еще сохраняет все особенности нормально изверженной породы.

Для крайне неправильных интрузивных тел, встречающихся в районах складчатых гор, которые не попадают ни в одну из установленных категорий формы, проф. Дэли предложил общий термин *хонолит* (от греческого *хонос* — изложница, т. е. магма, которая заполняет свое пространство, как металлы заполняют изложницу). Хонолиты очень разнообразны по форме и по своим отношениям к окружающим породам. Они могут быть образованы магмой, которая активно раздвигает породы, в которые она внедряется, или пассивно заполняет полость, образовавшуюся при складчатости и разломах.

В ядрах многих хребтов складчатых гор, особенно древних, обнаруживаются огромные массы гранитных пород, которые образуют самые большие из известных интрузий изверженных горных пород. Их называют *батолитами* (греческое *батос* — глубина). Расплавленный гранит вторгся в корни складок, иногда раньше или во время процесса складкообразования, как это видно из факта гнейсовидной структуры изверженной породы, иногда же — после того, как складчатость прекратилась, когда гранит имеет нормальную, не ориентированную структуру и несогласно пересекает структурные особенности пород, в которые он вторгся. Батолит вообще удлинен в направлении

структурных осей складчатой зоны, в которую он интродуцирован. Его кровля неправильная, куполообразная, с небольшими выступами или куполами (штоки). Вблизи вершины нередко находятся оторванные части пород кровли (отторженцы и глыбы). Боковые стенки круто наклонены и сравнительно ровные. Согласно Дэли батолит расширяется вниз, дна его не видно, и он имеет такой вид, как будто он заместил геологические образования, в которые он вторгся, сам создавая для себя пространство механическим смещением и обрушением глыб своей кровли, при помощи процесса неравномерного нагревания, проникновения жил, и действуя как бы магматический клин (дискордантный батолит). Предполагают, что получающиеся обломки погружаются в расплавленную массу и растворяются на глубине.

С другой стороны Иддингс и Клоос отвергают взгляд, что батолиты бездонны. Они думают, что пространство, необходимое для их развития, создано смещением, а не замещением окружающих пород, которые были приподняты, сдвинуты в сторону и даже вниз вместе с вызывающими складки и надвиги горообразующими движениями. В типичных гранитных батолитах Баварии Клоос обнаружил, что изверженные тела лежат между, а не под теми породами, в которые они вторгаются, и что те же самые горные породы, какие найдены выше гранитов, могут быть так же прослежены и под ними. Таким образом согласно идеям Иддингса и Клооса батолиты представляют гигантские слоеобразные или плоские массы (конкордантные батолиты, см. рис. 27).

Дэли относит гранитные массы, имеющие больше, чем 100 км² по площади, к батолитам, однако многие батолиты так велики, что не поддаются измерению. Батолит Аляски и Британской Колумбии, в котором среди широко варьирующей серии типов горных пород преобладает гранит, протягивается от реки Фрезер в Британской Колумбии до территории Юкона на расстоянии свыше 1700 км, при средней ширине в 80 км, а максимальной 180 км. Патагонский батолит в самой южной части Анд имеет 1100 км при наибольшей ширине 110 км. Лучшие примеры батолитов на Британских островах мы находим в гранитных массах Абердиншира и соседних районов. Эти массы можно рассматривать, как вершины огромного батолита, лежащего под всем этим районом. Батолит был интродуцирован в результате складчатости каледонского периода (конец силура). Подобным образом пять больших и несколько меньших гранитных масс Корнуэльса и Девона представляют вершинные выступы батолита, который был интродуцирован непосредственно после герцинской складчатости (конец карбона) в этом районе (см. таблицу на стр. 208).

Глава VIII

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВУЛКАНОВ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ИЗВЕРЖЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Географическое распределение действующих и недавно действовавших вулканов повидимому очень тесно совпадает с географическим распределением

землетрясений и с районами современных и недавних движений земной коры. Однако землетрясения, хотя и часто вызваны вулканической деятельностью, но еще чаще происходят при мощных движениях земной коры очень глубинного происхождения, которые не сопровождаются действием вулканов и встречаются в невулканических районах. Связь вулканов с земными движениями, как отмеченными сокращением и складчатостью, так и с надвигами горных пород в молодых горных цепях земного шара (Альпийско-Гималайская система, система гор вокруг Тихого океана), а также с вертикальными движениями: опусканиями и поднятиями больших участков земной коры и океанических районов, легко понятна, так как такие движения указывают на слабые места в земной коре, через которые облегчается выход расплавленного материала на поверхность.

Согласно Запперу, число вулканов, относительно которых имеются указания на извержения в исторические времена, равняется 430. Число недавно потухших, или по крайней мере давно покоящихся вулканов конечно в несколько раз больше. Из известных действующих вулканов 80 являются подводными; 275 находятся в северном полушарии и 155 в южном полушарии; 336 расположены в тихоокеанской половине земного шара и только 94 в индо-атлантической половине. Существуют указания, примерно на 2500 извержений, из которых больше чем 2000 имели место в Тихом океане или вокруг него.

Географическое расположение вулканов может быть вкратце суммировано в положении, что они

встречаются внутри или вблизи двух больших зон недавней горообразовательной деятельности, в Альпийско-Гималайской зоне и в зоне вокруг Тихого океана, а также в трех больших океанских районах: в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах. В этой группировке восточно-африканские, аравийские и антарктические вулканы причисляются к Индийскому океану, а западно-африканские — к Атлантическому.

Рассматривая сначала Альпийско-Гималайскую систему с ее европейского края, мы замечаем только недавно потухшие вулканические районы Оверни (Франция), Эйфеля (Германия) и Чехии. К востоку идут среднеземноморские вулканы, разделяющиеся на три группы: Итальянско-Сицилийскую систему от Монте-Амиата до Этны с историческими извержениями Везувия, Этны, Стромболи, Вулкано и Эпомео; Сицилийско-Ионическую систему к югу и востоку от Сицилии, включающую Пантеларию и некоторые подводные извержения, и Эгейскую систему, в которой самым выдающимся активным центром является Санторин. Такие вулканы, как Эльбрус на Кавказе, Арарат в Армении, Демавент в Персии и некоторые конусы в Белуджистане продолжают зону по направлению к Гималаям, которые однако вместе с сильно сжатыми ядрами других складчатых горных цепей не обнаруживают молодой вулканической деятельности. Там где линия гор поворачивается к югу, в Юннани и Бирме, вновь появляются молодые вулканы, и известно, что происходили извержения на острове Баррен, который, так же как Наркондам, расположен в Бенгальском

заливе. Затем линия проходит через Суматру с 11 действующими выходами, Яву с 19 вулканами, Малые Зондские острова с 15 эруптивными конусами и Южные молуккские с 3 центрами деятельности. Этот Ост-индский район является одной из наиболее активных вулканических зон на земном шаре, как это можно естественно ожидать из его положения на месте соединения Альпийско-Гималайской системы и Тихо-океанской.

Поворачивая на север, система, идущая вокруг Тихого океана, проходит через Филиппинские острова с их 98 эруптивными центрами (17 подводных) и доходит до обширного вулканического района Японии с 33 активными выходами. Линия вулканических островов и подводных выходов протягивается на юг от Фузи-Ямы в Тихий океан приблизительно на 1500 км вроде придатка к главной вулканической зоне. Зона, окружающая Тихий океан, продолжается затем в Курильские острова с 13 вулканами и двумя подводными извержениями, и Камчатку с 9 активными эруптивными центрами. Затем идет большая дуга Алеутских островов с их продолжением на полуостров Аляску (стр. 137) и материк Северной Америки. Заппер перечисляет 32 активных центра в этом районе, но здесь наверное есть еще несколько центров, которые будут открыты. Затем вулканическая зона поворачивает на юго-восток и на юг, проходя через гору Врангеля и Эджкомб и четыре других вулкана на границе Аляски и Канады. Длинный разрыв вулканической линии находится в Британской Колумбии, — пробел, который может быть отчасти заполнен, однако, откры-

тием молодых туфов и лав, покоящихся на поверхности ледниковых скал на островах около пролива Мильбэнк, на 550 км севернее Ванкувера. Зона активного вулканизма возобновляется в длинной линии гигантских вулканов в Каскадных горах США (стр. 152), из которых Лассен Пик является самым южным вулканом (глава VI). В штатах Юта, Аризона и Новая Мексика находятся также группы очень свежих кратеров с недавними потоками лавы. Нижняя Калифорния имеет один, а возможно и второй действующий конус; линия, ведущая в Мексиканский район, имеет 8 действующих вулканов. В центральной Америке могут быть выделены три зоны: Гватемала и Сальвадор с 14 центрами деятельности, Никарагуа с 7 и Коста Рика с 5. Вулканическая зона Малых Антильских островов, включающая Мон-Пеле и Ла-Суффриер, стоит особняком от зоны центральной Америки, будучи расположена на дуге, представляющей горную складку, которая отделяет Карибское море от Атлантического океана, но которая, согласно некоторым геологам, в действительности является огромной, направленной к востоку, складчатой петлей, соединяющей Кордильеры Северной и Южной Америк. Так как их лавы одинаковы с лавами района вокруг Тихого океана, вулканы Вест-Индии, несмотря на их положение внутри Атлантического океана, могут быть отнесены к поясу, охватывающему Тихий океан.

Длинная линия больших вулканов сопровождает Анды от Колумбии до Патагонии. Заппер подсчитывает, что 11 вулканов находится на пло-

щади Колумбии и Эквадора, по крайней мере 8 в Перувианско-Боливианской части материка и 22 в Чилийско-Аргентинском районе, включая одно подводное извержение. Здесь известен один вулкан — остров Десепшен на продолжении линии Анд, на Южно-Шетландских островах Американского сектора Антарктики. Согласно Зюссу Южные Сандвичевы острова в Южно-Атлантическом океане лежат на длинной направленной к востоку петле складчатой линии Анд, соединяющей Кордильеры Патагонии и Земли Грэма. Если этот взгляд на строение правилен и твердо обоснован, то вулканические острова в этом районе должны быть отнесены к группе, охватывающей Тихий океан.¹

Фактически ничего неизвестно об этой части Южной Антарктики Тихого океана, и вулканическая зона, охватывающая Тихий океан, встречается затем в Новой Зеландии, где на северном острове известны 4 действующих вулкана. Потом зона продолжается в Новые Гебриды с 7 действующими центрами, один из которых подводный, на Соломоновы острова с двумя известными вулканическими выходами, и в юго-восточную Новую Гвинею, где несомненно находится один, а может быть и два действующих вулкана. Отсюда следует, что вулканическая зона, охватывающая Тихий океан, заканчивается дугой Новой Гвинеи и Новой Померании, в которой Заппер перечис-

¹ Недавнее петрологическое исследование некоторых лав с острова Тула показывает, что они представляют андезиты, подобные андезитам Анд и островов Южной Шотландии.

ляет 11 действующих выходов, связывающихся с районом восточной Индии.

Тихий океан содержит несколько групп вулканических островов, на которых происходили большие извержения. Гавайская группа (глава IV) с 4 активными конусами и 1 подводным извержением, расположена на север от экватора. На юг от экватора находится группа Самоа с несколькими активными центрами на Савайи, острова Тонга с 6 вулканами и 4 подводными выходами, и острова Кермадек с 1 вулканическим конусом и 2 подводными извержениями. В восточной части Тихого океана на экваторе расположены Галапагосские острова с 2 вулканическими центрами. Еще дальше на юг берег Чили представляет вулканический район Хуан-Фернандес с 4 подводными выходами.

Район Атлантического океана содержит некоторые, очень важные вулканические центры. Исландия, самое большое лавовое поле настоящего времени, лежит в его северной части, и Ян-Майен с одним юным вулканом находится несколько дальше к северо-западу. Число действующих вулканов в Исландии точно неизвестно, так как некоторые выходы скрыты под ледяным покровом, но Заппер насчитывает там по крайней мере 11 (а возможно и 18) в южной зоне и 11, включая 3 подводных извержения, в восточной Исландии. Очень большое число вулканов Исландии является только недавно потухшими. На более низких широтах и вблизи африканского берега находятся Канарские острова с несколькими центрами вулканической деятельности, включая Пик Тене-

риф и острова Зеленого Мыса с одним действующим конусом Фого. Азорские острова дальше на запад представляют группу вулканических островов, близ которых были зарегистрированы 4 подводных извержения. Острова Св. Елены, Вознесения и Тристан-да-Кунья являются вулканическими островами, деятельность на которых давно уже прекратилась. Кроме 10 изолированных подводных извержений в разных частях Атлантического океана, находится группа из 5 вблизи экватора между 15° и 25° зап. долг. К атлантическому вулканизму может быть также отнесена зона Гвинеи на материке западной Африки с ее одним действующим вулканом — гора Камерун. Острова в Гвинейском заливе являются главным образом вулканическими, хотя деятельность их теперь замерла.

Индийский океан включает три группы вулканических островов, каждая с одним действующим вулканом. Коморская группа с вулканом Картала, Маскаренская (Маврикия) группа с вулканом Питон-де-ла-Фурнэз на острове Реюньон и Кергуеленская группа с действующим центром на острове Херд. Кергуелен представляет большой остров, сложенный очевидно массовыми излияниями или щитовыми покровами базальта и может рассматриваться, как двойник Исландии в Индийском океане. Известны два подводных выхода в Индийском океане, один около Пондишерри (1757 г.) и второй на 6° южн. шир., 89° вост. долг., который был действующим в 1879 и 1883 гг.

Предложено включить сюда вулканы восточной Африки в районе Индийского океана. Эти центры,

повидимому, связаны с большой системой трещин и вытянутыми узкими площадями опускания, которые тянутся от Красного моря, через Кению и Танганьiku до Мозамбикского берега. В Кении и Танганьике этот длинный район опускания известен как долина большого африканского грабена (Рифта). Два действующих вулкана, Дубба и Афдера находятся в его северной или Эритрейской зоне. Имеются четыре активных выхода в восточной ветви долины великого грабена в Кении. А в западной ветви в Танганьике находится группа Карунгу, которая включает наиболее активные африканские вулканы. В большой горной котловине Танганьики находится Нгоронгоро, одна из самых крупных вулканических кальдер размерами 19 на 18 км в поперечнике. Две самые высокие африканские горы Кения и Килиманджаро — обе представляют руины древних вулканов, относящихся к раннему времени настоящего вулканического цикла.

В Сирии и северной Аравии находится обширное базальтовое плато совсем молодого геологического возраста. Некоторые конусы в вулканическом округе Сафа, около Дамаска, очень свежи. Существуют предания об извержениях в Палестине или около нее в доисторические времена (напр. ходячий миф о разрушении Содома и Гоморры). В западной Аравии произошли два вулканических извержения в историческое время, а также подводное извержение около Адена. Наконец, мы можем связать с районом Индийского океана два знаменитых антарктических вулкана горы Эребус и Террор.

Одной из наиболее поразительных главных черт этого распределения является расположение вулканов вдоль линий, или, вернее, в узких вытянутых зонах. Эта черта проявляется наиболее совершенно в районе, опоясывающем Тихий океан. Вулканические конусы часто обнаруживают в малом масштабе прямолинейное и криволинейное расположение, которое может быть объяснено только предположением, что расплавленный материал поднимается вдоль глубинной трещины, хотя он мог выйти на поверхность только в некоторых благоприятных пунктах, причем часто последние являются пересечениями трещин, идущих в разных направлениях.

Другой факт распределения вулканов, которому приписывалось большое значение, заключается в том, что вулканы встречаются по берегам океанов или около них и на островах, иначе говоря: они, повидимому, избегают внутренних частей континентальных масс. Это обстоятельство вместе с фактом, что вулканы выделяют огромное количество пара привело к взгляду, что вулканизм обязан своим происхождением доступу морской воды к вулканическим очагам. В одном случае при извержении Кракатау в 1883 г. без сомнения проникновение морской воды через трещины вызвало ужасный взрыв, которым отличалось это извержение, но настоящее извержение началось совершенно независимо от этой причины. Кроме того вулканы встречаются и внутри материков, как например в восточной Африке, где действующие центры находятся на расстоянии 1300 км от берега. Известно также, что вулканическое извержение про-

изошло в начале XVIII столетия около Мергена, к югу от Амура Манжу-Го внутри материка в 800 км от Владивостока. Совпадение вулканов с берегами океанов зависит от того факта, что границы материков и океанов или морей являются областями слабости и беспокойного состояния земной коры. Там где вулканы встречаются внутри материка, как например в долине большого грабена восточной Африки, они всегда связаны с сильными и глубокими разломами земной коры.

Несмотря на ассоциацию вулканизма с большой системой молодых складчатых гор, подробно рассмотренной выше, вулканическая деятельность по-видимому связана больше с вертикальными, чем с боковыми движениями земной коры, участвовавшими в их образовании. Горные цепи с утолщенной корой, как напр. Скалистые горы, Колорадо и Анды во многих отношениях представляют контраст с горными хребтами с утоньшенной корой, какими являются Пенсильванские Аппалачи и Альпы (Р. Г. Чемберлен). Для гор с утолщенной корой характерна спокойная простая складчатость и умеренное сжатие, действующее на относительно глубокую зону земной коры, а также значительные поднятия при помощи вертикальных движений, нормальные сбросы и разломы, которые могут также достигать очень больших глубин. В горах с утоньшенной корой сравнительно тонкая поверхностная часть земной коры подвергалась сильной деформации и сжатию, приводящему к надвиганию плоских масс горных пород одна на другую, особенно в сторону краевых частей горных цепей. В этом типе ясно преобладает

горизонтальное движение. Образование горных цепей с утолщенной корой сопровождается одновременной или следующей за ним сильной вулканической деятельностью. Гранитоидные породы внедряются в ядра горных хребтов после того, как прекратилась главная складчатость, и создаются вулканы, извергающие андезитовые лавы на самых складках (рис. 27) или сейчас же позади складчатых дуг, сопровождаясь оседанием складчатых блоков, как только ослабевает сжатие (Скалистые горы, Колорадо и Анды). В горных цепях с утоньшенной корой (Канадские скалистые горы и Альпы) не имеет места вулканическая деятельность, или она слабо проявляется, и хотя в ядрах хребтов встречаются гранитоидные интрузии, они обнаруживают тенденцию быть выдавленными и разлистованными, указывая, что они инъецированы одновременно со складчатостью. В горных же хребтах с утолщенной корой гранитоидные батолиты вообще обнаруживают несогласное залегание с окружающими породами и обладают обыкновенной гранитной, не гнейсовидной структурой.

Лавы и интрузии, которые находятся в непосредственной связи с цепями складчатых гор (ороген), резко отличаются от тех, которые находятся в районах океанов, в районах опускания внегорных поясов и в устойчивых глыбах земной коры (кратоген). Образованию складчатых гор предшествует накопление мощных масс осадков в длинных узких депрессиях (геосинклиналях), подвижных и гибких полосах земной коры, которые прогибаются на большую глубину. Рост геосин-

клиналей сопровождается инъекцией эмеевиков и основных магматических пород, а также подводными извержениями особого типа базальтов, богатых натром, которые известны под названием спилитов. Когда геосинклинальные осадки наконец выжимаются горообразующими силами, и на них образуются складчатые горы, захватывающие также части твердых устойчивых глыб, ограничивающих геосинклинали, эти ультраосновные и основные изверженные горные породы подвергаются в слабой степени метаморфизму, который превращает их в известные зеленокаменные породы или офиолиты всех складчатых гор. В кульминационный момент действующей складчатости или непосредственно вслед за ним происходит инъекция гранитоидных масс в ядра складок и экструзия андезитовых лав. Таким образом многие действующие вулканы гор с утолщенной корой, окружающих Тихий океан, теперь извергают разновидность андезита с характерным для нее минералом — гиперстеном.

Очень отличаются условия в районах океанов и устойчивых глыб вне орогена. Здесь — театры массовых базальтовых излияний и базальтов щитовых вулканов. Именно в кратогенных областях земной коры можно видеть огромные комплексы интрузивных залежей долерита (стр. 184) и габбровые лополиты. Дифференциация первичного базальта в вулканах океанических островов, в извержениях плато и в разломанных фронтальных частях (форляндах), ограничивающих цепи складчатых гор, приводит далее к образованию отчетливо-щелочных типов лавы от щелочных ба-

зальтоидных пород (трахибазальта) до трахита и щелочного риолита. Иногда дифференциация так резко выражена, что образуются лавы, которые содержат богатые щелочами минералы — нефелин или лейцит, смотря по тому, натр или кали являются главной щелочной составной частью.

Описанные выше общие закономерности были найдены по распределению вулканов и изверженной деятельности последнего большого геологического цикла, в который образовались Альпы, Гималаи и Анды и окончательно оформились те большие океаны, какие мы теперь знаем. Естественно, что труднее проследить распределение случаев извержения относительно ранних геологических циклов при создании гор и образовании океанов. Но размытые корни древних горных цепей, как напр. гор Шотландского и Уэльского нагорий, Корнуэльса и Девона, Шварцвальда и Саксонии, Аппалах и Сиерры Невады тем не менее вскрывают обширное развитие зеленокаменных пород, гранитоидные батолиты и иногда также остатки андезитовых вулканов. Подобным же образом появляются на свет после глубокой эрозии древних кратогенов системы интрузивных залежей, лополиты и массовые базальтовые излияния прежних геологических циклов. Изучение геологической истории показывает, что хотя вулканическая деятельность встречалась в течение геологических времен в разных частях земли, она была гораздо более интенсивной в революционные эпохи крупных движений земной коры.

Мы уже говорили о вулканическом цикле, но вулканический цикл является только частью более

Всеобъемлющего цикла или ритма геологических событий, который в некоторых более важных структурных единицах земной коры проявляется главным образом в чередовании периодов максимального движения коры с периодами относительного спокойствия. Теперь ясно однако, что геологический цикл в своем проявлении не охватывает весь земной шар. Ритм не является простым, действительный ход геологической истории слагался из наложения различных ритмов, при которых правильности настолько затемнены, что некоторые геологи отрицают существование ритмичности вообще. Живой интерес геологической науки направлен теперь в значительной степени к распознаванию сложных ритмов геологических циклов и к отысканию их причин. Достаточно ясно однако что в Евразии движения земной коры (диастрофизм) привели по крайней мере к четырем великим критическим эпохам (революциям) в течение известного нам геологического времени и что в промежутках случались меньшие нарастания этих движений (нарушение). Наибольшие пароксизмы движений ограничивают вообще эры или наиболее крупное подразделение геологической истории (см. таблицу на стр. 208 и сл.), более мелкие фазы движения отвечают меньшим подразделениям времени. Некоторые из последних совпадают с границами геологических периодов, но некоторые из периодов, как теперь выяснено, охватывают более чем одно нарушение в земной коре.

Геологический цикл начинается относительно быстрым поднятием континентальных масс, которые одновременно с этим делаются широкими

высокими, и образуют, особенно по их окраинам, длинные цепи складчатых гор, в которых горные породы интенсивно сжаты. Океаны на этой стадии относительно малы и глубоки. Явления извержений и землетрясений достигают максимального развития, а на континентах происходит широкое оледенение и образование пустынь. Климатические условия суровые и резкие. В настоящее время земля повидимому вышла из такой фазы геологического цикла. За этой революционной стадией следует продолжительный период относительного спокойствия, как в земных движениях, так и в вулканической деятельности. Континенты постепенно уменьшаются и понижаются, вследствие совокупного действия эрозии и постепенного надвигания мелких морей на окраины континента. Общее спокойствие случайно прерывается местными нарушениями, во время которых изверженная деятельность может опять усиливаться. Земные движения наконец ограничиваются легкими поднятиями и опусканиями обширных районов, вулканическая деятельность совершенно замирает и климатическое однообразие распространяется на большую часть земного шара. Но под видимым спокойствием нарастают революционные силы земли, и геологический цикл заканчивается новым пароксизмом горообразования и подъемом континентов. В таблице на стр. 208—211 дана попытка сопоставить земные движения и вулканическую деятельность в продолжение геологической истории северо-западной Европы.

Объяснение изверженной деятельности таким образом тесно связано с объяснением движений

земной коры и геологическим циклом. Здесь мы вступаем в область чистых умозаключений, и целью этой книги не является обзор многочисленных предложенных теорий. В предыдущих главах мы рассматривали непосредственные причины главных типов вулканической деятельности, а в этой главе мы займемся исследованием основных причин изверженной деятельности вообще. Несмотря на то, что в этом вопросе нет окончательного решения, автор придерживается мнения, что теория об источниках магматической деятельности, которая вытекает из проникновенной интуиции дублинского проф. Джоли, видоизмененная и расширенная дургамским проф. Холмсом, дает в первом приближении достаточное основание для объяснения. Эта теория основана на известных фактах радиоактивности горных пород.

Все горные породы содержат хоть в ничтожном количестве радиоактивные вещества. Кислые изверженные горные породы, как гранит, содержат их больше всего; основные породы, как например габбро и базальт, содержат около одной трети, а ультраосновные, как перидотит, содержат только одну шестую или меньше того количества, которое найдено в гранитах. Радиоактивные вещества производят в горных породах тепло и, согласно последним взглядам, это тепло должно накапливаться, пока не будет достигнута точка плавления. Из измерений в рудниках и глубоких буровых скважинах известно, что температура земной коры увеличивается в глубину с каждым километром на 31°C в Европе и на $23,6^{\circ}\text{C}$ в Северной Америке. Если бы этот термический градиент

Эра	Период	Движения земной коры
Кайнозой- ская	Верхний кайнозой- ский	Альпийская революция
	Средний кайнозой- ский	
	Нижний кайнозой- ский	
Мезозой- ская	Верхний меловой	
	Нижний меловой	
	Юрский	
	Триасовый Пермо-триасовый	
Верхнепа- леозойская	Пермо-карбон	Герцинская революция
	Верхнекаменно- угольный	
	Нижнекаменно- угольный	
	Верхнедевонский Нижнедевонский	
Нижнепа- леозойская	Силурийский	Каледонская революция
	Верхнеордовичский	
	Среднеордовичский	Малая орогения

Изверженная деятельность

В орогенах

Венгерские андезиты и риолиты

Интрузии гранитоидов

Альпийские офиолиты, „зеленокаменные породы“ и эмсевики

Интрузии гранитоидов (Девон и Корнуэл, Вогезы, Шварцвальд и др.)

Спилиты, „зеленнокаменные породы“ (Девон и Корнуэл, Вогезы и т. д.)

Андезиты и интрузии гранитоидов (Шотландия и Норвегия)

Спилиты и т. д. (Уэлс, южн. Шотландия, Норвегия)

В кратогенах

Внешние Альпийские провинции щелочных базальтов

Массовые излияния тулейских базальтов

Система долеритовых интрузивных залежей (Шпидберген)

Долеритовые интрузивные залежи и дайки (Сев. Британия)

Плато-базальты (Шотландия)
Щелочная провинция Осло

Щелочный комплекс Сутер-ланда

Эра	Период	Движения земной коры
Нижнепалеозойская	Нижнеордовичский Верхнекембрийский Нижнекембрийский	
Археозойская	Торридонский Уриконский Дальрадийский Мойнийский	Чарнийская революция (Англия) Дальрадийская революция (Шотландия, Уэльс?) Ятулийская революция (Швеция)
Эозойская	Левизианский	Левизианская революция

оставался постоянным в глубину, то точка плавления базальта (1200°C) была бы достигнута на глубине 38,6 км в Европе, но совершенно невероятно, чтобы горные породы на такой глубине были действительно в жидком состоянии, потому что огромное давление должно бы сохранять их твердыми и крепкими. Тем не менее количество тепла, которое достигает поверхности с термальным градиентом и излучается в пространство, как думают, должно быть меньше того количества тепла, которое должно развиваться при известной радио-

Изверженная деятельность

В орогенах

Андезиты и риолиты (Уэльс и Озерная область)

Интрузия гранитоидов. Риолиты
Спилиты, „зеленокаменные породы“ и т. д.

Интрузии гранитоидов, габбро и перидотиты. „Зеленокаменные породы“ (Финляндия и т. д.)

В кратогенах

До кембр. (?) щелочные провинции (Скандинавия)
Долеритовые интрузивные залежи и дайки (Скандинавия)

Долеритовые интрузивные залежи и дайки

активности горных пород. Хотя не учитывая влияния других факторов кажется нельзя уйти от заключения, что горные породы должны постоянно становиться горячее, однако в геологической истории нет данных, чтобы это возрастание тепла в земной коре когда-нибудь на самом деле стало эффективнее. Это противоречие заставило геологов и физиков рассматривать механизм процесса, как периодическое освобождение излишков тепла из земной коры.

Таким образом считают, что магмы происходили

вследствие радиотермального плавления материала горных пород нижнего слоя земной коры. Род магмы, происшедшей в каком-нибудь месте, должен зависеть таким образом от состава внешних слоев земли. Возможность инъекции образовавшейся магмы в земную кору или достижения ее поверхности и образование вулкана зависит от структуры и движений земной коры.

Теория структуры и состава земной коры, которая находит всеобщее признание, заключается в том, что земная кора состоит из двух главных слоев. Наружный слой, который прерывается и обладает различной толщиной, имеет гранитоидный состав и известен под названием *сиаль*, от элементов силиций и алюминий, из которых он преимущественно состоит. Второй слой, который считают непрерывным и распространенным во всей земной коре, состоит из основных и ультраосновных горных пород. Его наиболее преобладающими химическими элементами являются силиций и магний, и он известен под названием *сима*. Самая верхняя часть симы вероятно состоит из материала базальтового или габброидного состава и переходит постепенно вниз в материал перидотитового состава.¹ Сиаль имеет среднюю плотность — 2,7, базальт — 3,0 и перидотит — 3,4. В значительной мере на основании данных, доставляемых волнами землетрясений, можно думать, что континенты выглядят как неправильные лепешки или плиты *сиаль*, которые

¹ Перидотит — грубозернистая, ультраосновная, богатая магнием изверженная горная порода.

ведут себя так, как если бы они плавали на субстрате симы, охватывающем весь земной шар, точно так же как айсберги плавают на морской воде (рис. 28). На основании сейсмологических и других соображений полагают, что толщина континентальных плит меняется от 12,5 до 40 км, причем самая большая толщина находится под высокими горными цепями и возвышенными плато.

Сиаль, повидимому, отсутствует на широких площадях дна океанов, исключая может быть Атлантический океан. Взгляд, что сима образует дно больших океанов, находит серьезную поддержку в наблюдениях над силой тяжести в океанических областях и в подавляющем преобладании базальтов среди лав океанических вулканов. Сиаль континентов состоит из верхнего слоя гранитоидных пород (гранит, гранодиорит и диорит) толщиной от 9,5 до 12 км и из лежащего ниже слоя от 20 до 25 км толщиной, состоящего вероятно из амфиболита.² Поддерживающий симу субстрат передает волны землетрясений со скоростью, отвечающей представлению, что он состоит из эклгита (форма, которую принимает базальт или габбро при сильном давлении), или перидотита, который может быть стекловатым на глубине (А. Холмс).

Предполагая, что состав земной коры таков, как это указано выше, перейдем к проблеме образования магм на поразительно больших расстояниях от поверхности. Прежде думали, что магмы проис-

² Порода, состоящая в значительной степени из минералов семейства амфиболов или роговых обманок.

ходят из изолированных очагов расплавленного материала, которые являются остатками некогда совершенно расплавленного земного шара. Эта идея однако заключает в себе взгляд, что земля в геологические времена непрерывно охлаждалась из расплавленного состояния. Этот взгляд хотя и поддерживается некоторыми геологами, так же противоречит геологическим данным, как взгляд, что земля непрерывно подогревается.

В первоначальной теории Джоли предполагалось, что термический и геологический цикл начинается со слоя сима в твердом состоянии, хотя и при температуре, близкой к его точке плавления. Благодаря его радиоактивности тепло накапливается в базальтовом слое скорее, чем оно может уходить вследствие теплопроводности через континенты, дно океанов и воду. Радиотермальное тепло, производимое самими континентами, согласно Джоли, является вполне достаточным, чтобы возместить поток тепла вдоль определенного геотермического градиента. Таким образом радиотермальное тепло подлежащего базальта находится под покрывкой континентов и должно накапливаться. За время от 30 до 40 млн. лет накопленного тепла будет достаточно, чтобы совершенно расплавить базальт под континентами и океанами. По основаниям, которые невозможно здесь развивать, предполагают, что дно океанов остается нетронутым, хотя здесь нет покрова сиаля, который сохранял бы тепло.

Когда жидкое состояние базальта вполне таким образом установилось, должно наступить неустойчивое равновесие состояния земной коры. Базаль-

товый слой расширяется во время его плавления и поэтому должен поднимать и растягивать лежащую над ним земную кору, как континенты, так и дно океанов. Тогда базальтовая магма вырывается через трещины и производит обширные массовые излияния базальтов. Но хотя земная кора поднимается как одно целое, однако континенты, заключенные в океанические сегменты, имеют и самостоятельное движение и подобно тому, как судно немного понижается, когда оно входит из моря в менее плотную речную воду, так колеблется и уровень континентов. В результате неглубокие моря далеко и широко распространяются по краям континентов и вызывают морские трансгрессии известной геологической истории.

Проф. Джоли избавляется от накопившегося таким образом тепла предположением, что как только устанавливается в субстрате жидкое состояние, начинает действовать механизм приливов. Предполагают, что под влиянием притяжения солнца и луны вся твердая земная кора в целом медленно смещается к западу, вследствие чего перегретый базальт под континентами подходит под холодное дно океанов, где избыток тепла быстро выделяется в океаны. С новым затвердеванием и сокращением базальтового слоя при охлаждении, океанические сегменты, расширенные вследствие инъекции базальта, с разрушительной силой наступают на края континентов и являются причиной созидания складчатых гор.

Профессор Холмс изменил теорию Джоли и расширил ее объем, введя в схему действия радиоактивность перидотитовой оболочки. Он предпо-

ложил, что со времени кембрия прошло около двадцати базальтовых циклов, и что через более длинные интервалы, измеряющиеся шестью или семью базальтовыми циклами, накладываются еще результаты радиотермального плавления находящейся внизу перидотитовой зоны, которые вызывают изверженную деятельность и движения в земной коре значительно большего масштаба. Перидотитовые циклы сопоставляются с великими революциями истории земли, базальтовые циклы — с меньшими нарушениями. Теперь однако проф. Холмс придерживается мнения, что теория Джоли в своей первоначальной форме и его собственные видоизменения ее не совпадают с фактами геологической истории и изверженной деятельности. Механизм, к которому прибегают, чтобы объяснить удаление избытка тепла, приходится рассматривать, не только как недостаточный, но и как физически невозможный.

Присоединяясь к предположению, сделанному Буллем несколько лет тому назад, проф. Холмс недавно опубликовал теорию конвективной циркуляции перидотитовой оболочки, выводы которой повидимому будут соответствовать событиям геологической истории и изверженной деятельности гораздо лучше, чем какая-нибудь прежняя теория, и в то же время дадут объяснение боковому движению континентов. В кратких словах теория заключается в том, что земля охлаждается всецело вследствие конвекции, т. е. благодаря медленной циркуляции больших потоков симы к поверхности. Думают, что перидотитовая оболочка, толщиной в 2900 км, была так разогрета радиотер-

мальным действием, что она никогда не кристаллизовалась и существует еще в стекловатом состоянии. Хотя данные воли землетрясений показывают, что этот слой является жестким и в механическом отношении *твердым*, однако факт, что земная кора приспособляется так легко при движениях к изменениям нагрузки, показывает, что субстрат не имеет достаточной *крепости*, т. е. он не может неограниченно сопротивляться долго продолжающемуся приложению сил, которые стремятся его нарушить. Это вытекает также из его стекловатого или не кристаллического состояния.¹ Вязкость субстрата огромна, но сама по себе не может помешать образованию конвекционных потоков. Проф. Холмс указывает, что в перидотитовой зоне должна наступить циркуляция планетарной системы, аналогичная той, которая происходит в нижней части атмосферы. Эта циркуляция производит медленные восходящие потоки в экваториальных районах, которые, когда они приближаются к земной коре, поворачивают по направлению полюсов, половина на север и половина на юг. Боковые потоки тогда будут вызывать мощное движение, увлекающее континентальные глыбы, первоначально около экватора, стремящееся раздвинуть их и производящее пониженную зону в экваториальных районах, которая становится океаническим поясом.

¹ Читателю может помочь аналогия со смолой, твердой при обыкновенной температуре, которая ведет себя как крепкий жесткий материал по отношению к силам, действующим короткое время, как например удар, но которая будет течь под длительно приложенным давлением.

Планетарной циркуляции сопутствует еще более сильная субконтинентальная циркуляция, обязанная своим происхождением не одинаковому нагреванию субстрата сильно радиоактивными континентальными глыбами. Эта циркуляция должна производить сильные восходящие токи под самыми толстыми частями континентов, которые, как прежде, должны распространяться в стороны в различных направлениях и таким образом действо-



Рис. 28. Диаграмма соотношений структуры континентов и океанов. По А. Холмсу.

Стрелки показывают течение подкорового потока.

вать, мощно увлекая и разрывая континенты. Тупые выступающие вперед оконечности движущихся континентальных масс должны испытывать огромное сжатие со стороны твердых тяжелых океанических сегментов и должны утолщаться, сминаться в складки и в конце концов вырастать в горы. Впереди выдвигающегося континента происходит опускание дна океана и образование глубин благодаря возрастанию плотности вследствие сжатия симы. За растущими горами континенты прогибаются, образуя новую геосинклиналь (рис. 28).

Здесь невозможно проследить до конца теорию конвекции, которая еще находится в процессе разработки, во всех ее тектонических и вулканических разветвлениях. Что касается изверженной деятельности, то эта теория объясняет образование магм жидких или потенциально жидких, основную разницу в магматическом составе в разных по структуре районах земной коры; распределение магм во времени и пространстве; разные виды инъекции в земной коре и появление на поверхности. Полные ответы на эти вопросы еще не существуют. Образование магмы при радиотермальных процессах объяснено выше (стр. 207). Огромное количество тепла развивается с нижних сторон континентальных масс, где корни гор глубоко проникают в субстрат (рис. 28). Расплавление диоритового или амфиболитового слоя в основании континентов или смешивание базальтовых и гранитных магм обеспечивает таким образом появление гранодиоритовых-андезитовых изверженных горных пород в дугах складчатых гор. Под кратогенными частями континентов и под океанами образуется магма базальтового или перидотитового состава. Трещины в континентальных плитах и слабые зоны по границам континентов и океанов дадут таким образом каналы для быстрого выхода колоссальных массовых излияний базальта из трещинных или щитовых вулканов. По временам базальтовая магма должна подниматься менее быстро и проникать внутрь земной коры. В особенно больших телах (лополитах) возникает при этом цикл дифференциации, который дает различные серии изверженных горных пород, характерных для этих

масс. В другом случае базальтовая магма может быть инъецирована в виде системы долеритовых интрузивных залежей в осадочные слои верхней части земной коры. Наконец прогибание и утоньшение земной коры в геосинклиналях облегчает инъекцию базальтовой и перидотитовой магмы, которая появляется в виде офиолитов, зеленокаменных пород и эмеевиков в более поздний период, когда возобновившаяся горообразующая деятельность снова воздвигает ряд складчатых гор на площадях геосинклиналей. Частое обогащение горных пород геосинклиналей натром является еще не разрешимой петрологической проблемой.

Таким образом проблемы зарождения магм, образования изверженных горных пород и возникновения вулканических явлений деятельно исследуются в настоящее время, в особенности при помощи того ключа, который дан в теориях Джоли, в тепловом действии радиоактивности горных пород, и можно думать, что успешное разрешение уже близко. Вулканы являются только поверхностными проявлениями могучих сил, которые действуют в раскаленном подземном мире земного шара, придающих ему форму и строение и создающих рамки его эволюции. Исследованию вулканов и магматической деятельности вообще, таким образом принадлежит роль, способствующая пониманию механизма энергии, который действует на нашей земле.

Ответ. редактор проф. А. Н. Заварицкий

Ред. изд-ва Н. И. Бахдина-Тарноград.

Сдано в набор 29/IV 1934 г.

Формат 62×94¹/₃₂. Изд. № 424. Бум. л. 3³/₈. Тип. эк. в 1 бум. л. 105.280.

Ленгортлит № 24938.

Тираж 4000—авт. л. 9.

Техн. ред. Н. Б. Крушкол.

Корректор К. Н. Леонтьев.

Подписано к печати 10/X 1934 г.

Заказ № 2680.

8316