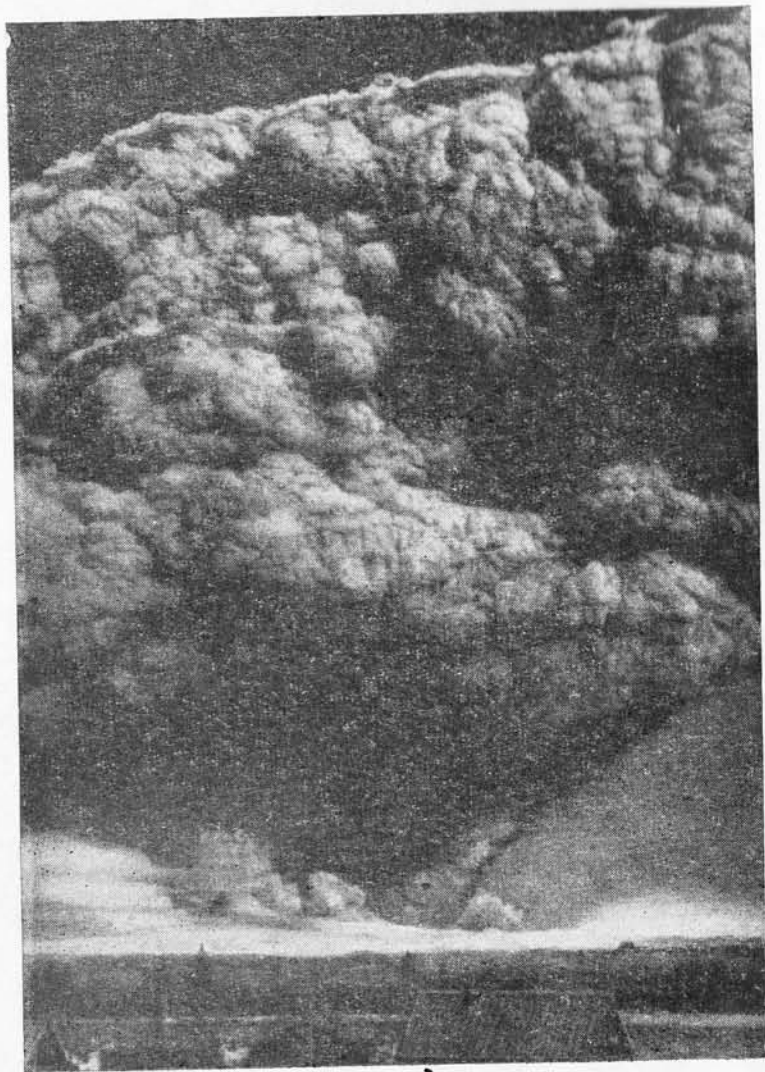




К. Н. РУДИЧ

# **КАМЕННЫЕ ФАКЕЛЫ КАМЧАТКИ**



Е. Н. РУДИЧ

# КАМЕННЫЕ ФАКЕЛЫ КАМЧАТКИ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,  
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
Новосибирск • 1978

Вулканы. Сколько их на нашей планете? Почему и как происходят извержения вулканов? Как образуются вулканические горы? Чем обусловлено размещение вулканов на земном шаре? Что такое тихоокеанское огненное кольцо? Чем знамениты камчатские вулканы? Почему обильное тепло вулканов способствует похолоданию? Можно ли предсказать катастрофические извержения вулканов? Какие продукты образуются при извержении вулкана и как ими пользуются люди? Могут ли вулканы рождать металлы, вращать турбины, обогревать города и лечить людей?

Эти и другие вопросы освещаются в книге на основании изучения интересных и редких явлений природы — действующих вулканов вообще и главным образом Камчатки.

Книга рассчитана на широкий круг читателей.

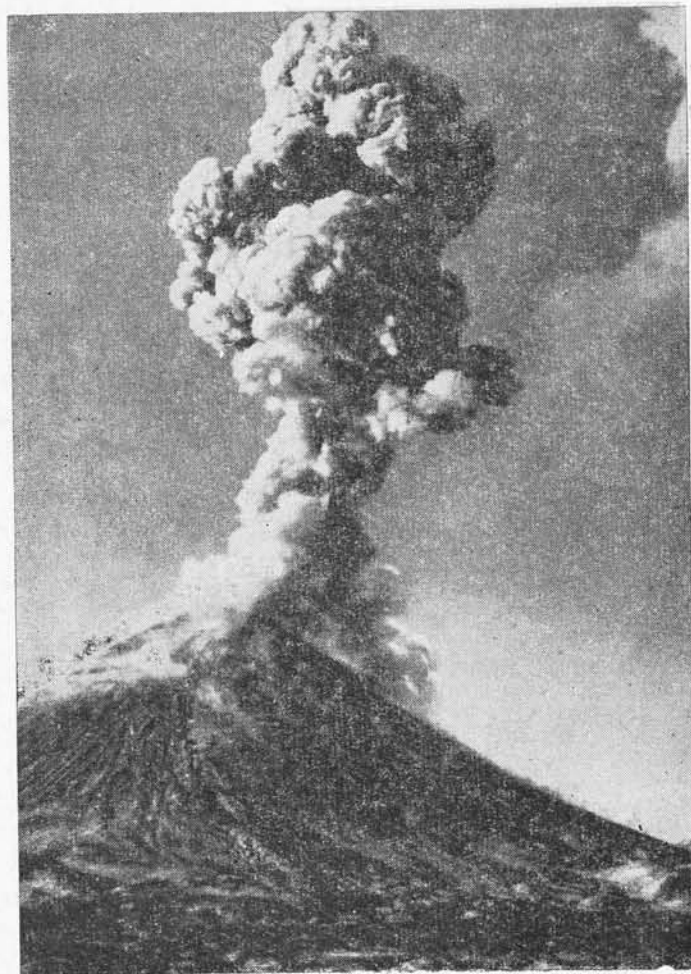


Камчатка. Мы с детства привыкли понимать ее как что-то весьма далекое и загадочное. Да, конечно, далека она от центра нашей страны. Ведь кроме Чукотки и Командорских островов Камчатка является самой восточной окраиной. Протянувшаяся почти на 1200 км в меридиональном направлении, она по форме напоминает огромную рыбу, голова которой упирается в северное окончание Курильской островной дуги — остров Шумшу, а хвост затерялся далеко на севере, в 100-километровом перешейке полуострова. По площади Камчатка почти на треть больше Белоруссии и в десять раз — Бельгии.

На Камчатке много запоминающихся мест. Красивы ее горы, которые всегда, даже в летнюю пору, покрыты снегом. Обильная и сочная растительность долины в сочетании с белоснежными горами создает неповторимые пейзажи. Красивы реки ее, среди которых особое место занимает камчатская Волга — р. Камчатка. Великолепны озера, особенно выделяются Курильское и Кроноцкое. Здесь находится знаменитая и единственная в мире Долина Гейзеров. И, конечно же, одна из лучших в мире — Авачинская бухта, вход в которую ревниво охраняют скалы Три брата. Есть и другие достопримечательности. Но самое главное и впечатляющее, чем славится Камчатка, — это действующие вулканы.

О них, действующих вулканах Камчатки, и написана эта книга.

## ВУЛКАНЫ. КАК ОНИ РОЖДАЮТСЯ?



Что собой представляют вулканы, где и как они рождаются? В древние времена люди не могли найти ответа на эти вопросы и поэтому создавались разные мифы и легенды. В самом деле, если вдруг из горы, казалось бы, без всякой на то причины, с грохотом, громом и непрерывным сверканием молний начинают вылетать в заоблачные высоты раскаленные камни — можно подумать всякое. Особенно часто такие события наблюдали на Липарских островах, расположенных вдоль Аппенинского полуострова. Подобные неистовства приписывали богу кузнечного дела, которого греки называли Гефестом.

Согласно же одному из древнеримских мифов, отверстия в конусовидных горах на островах Тирренского моря, откуда происходили частые извержения, являлись входом в жилище бога кузнечного дела, по-итальянски Вулкана. А один из островов, на котором чаще всего происходили извержения, получил название Вулькано. В дальнейшем подобные горы, где бы они ни находились, стали называть вулканами.

А вот как объясняют образование вулканов ученые. По определению известного вулканолога В. И. Влодавца, вулканы — это геологические образования, возникающие в земной коре над каналами или трещинами, по которым из недр земли извергаются огненно-жидкие лавы, обломки раскаленных горных пород, пепел, горячие газы, пары. В общем виде под вулканом принято понимать конусовидную гору с несколько усеченной вершиной. На вершине такой горы находится чашеобразное углубление — кратер. Последний соединяется с подводящим каналом — жерлом, по которому на поверхность земли поступают вулканические продукты. Это наиболее распространенная (рис. 1), но не единственная форма вулканов.

Иногда вулканы возникают, казалось бы, в самых неожиданных местах. Так, 20 февраля 1943 г. в Мексике родился вулкан Парикутин. Вот как это произошло. Крестьянин Дионисий Пулидо, работая на своем поле,



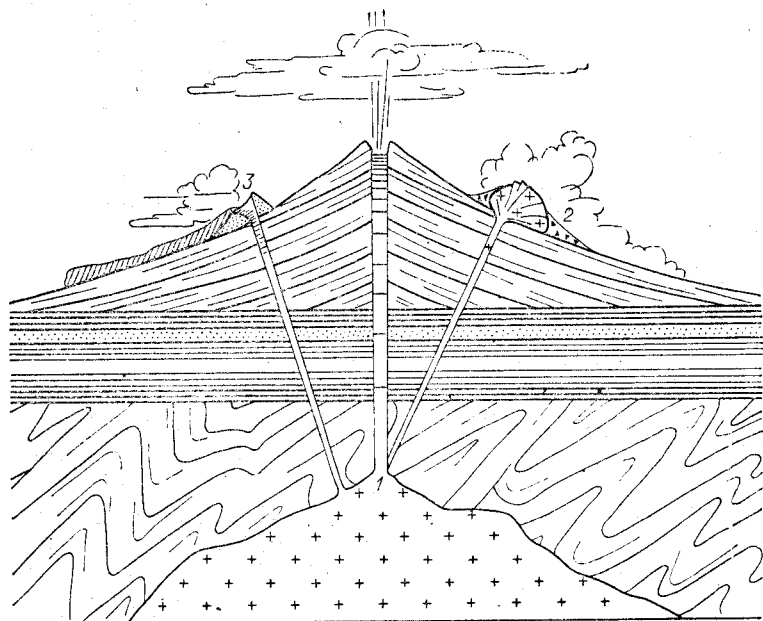


Рис. 1. Так выглядит типичный вулкан.

1 — магматический очаг; 2 — побочный экструзивный купол; 3 — шлаковый конус с лавовым потоком.

заметил маленькую трещину, из которой пробивалась струйка дыма. Он решил ее засыпать (полагая, что забыл потушить костер). Однако рядом с засыпанной появились другие трещины, и из них тоже просачивался дым. Что за наваждение! Одному ему уже не под силу было справиться, и он позвал соседей. Когда казалось, что работа подходит к концу, земля вдруг начала дрожать и из трещин стали вырываться не струйки, а мощные столбы дыма. Разумеется, всей компании пришлось поспешно уходить. А чуть позднее земля как бы расползлась и раздался взрыв необычайной силы. Затем нача-

лось извержение. Не прошло и суток, как на месте ровного поля возвышался вулканический конус, а извержение все продолжалось; через неделю конус вырос до 140 м.

Нечто подобное произошло и на Канарских островах (Атлантический океан). 18 ноября 1909 г. здесь возник вулканический центр Тенериф. В этот день фермер и его сын работали в поле. Вдруг почва под их ногами начала качаться, послышался шум. Спустя немного времени всего в 100 м от них земля треснула, кусты взлетели в воздух, а затем огромное количество пыли, песка и разных камней смешалось с паром и было поднято на высоту 90 м. Падавший песок был очень горяч. Вскоре появились и раскаленный материал. Но свидетели не стали дожидаться этого и что есть силы пустились наутек. Извержение продолжалось в течение десяти дней.

Столь же, как кажется, неожиданно, появляются вулканы в морях и океанах. В качестве примера можно сослаться на район Алеутской островной дуги, где часты подводные извержения. Здесь, в Беринговом море, в 1796 г. вследствие подводного извержения появился остров-вулкан Иоанна Богослова. Вулкан был частично размыт бушующими волнами моря, но последующие извержения восстановили его.

Совсем недавно, в 1963 г., тоже в результате подводного извержения близ южного берега Исландии возник остров-вулкан Спуртсей с высотой конуса около 200 м. А спустя всего два года рядом с ним (расстояние не превышает и 500 м) появился новый остров-вулкан.

Или такое событие, как пробуждение вулкана Хельгафелль в 1973 г. в Исландии, который находился в состоянии покоя 7 тыс. лет. Нечто подобное произошло и с вулканом Безымянный на Камчатке. Его считали давно потухшим, он не подавал никаких признаков жизни. И вдруг вулкан проснулся в 1955 г., спустя многие сотни лет, а затем в 1956 г. произошло страшное катастрофи-

ческое извержение. То же самое случилось в 1973 г. и с вулканом Курильских островов Тия, который считался почти потухшим.

Какие же причины вызывают извержение вулканов? Известно, что и земная кора, и расположенная ниже верхняя мантия находятся в твердом состоянии. Но лишь до поры, до времени. Если мы будем следовать в глубь Земли, то убедимся, что через каждые 33 м температура повышается на  $1^{\circ}\text{C}$ . Это так называемый **геотермический градиент**. Как показывают расчеты, на глубине нескольких десятков километров температура достигает такого уровня, при котором горные породы обычно плавятся. Однако с глубиной возрастает и давление, препятствующее плавлению. С течением времени различные подвижки в земной коре и верхней мантии (вертикальные передвижения блоков и т. д.) нарушают равновесие и тогда на больших глубинах твердое вещество переходит в расплав, создавая очаг. С помощью газа и пара расплав из этого очага устремляется к поверхности Земли — происходит извержение вулкана. Это одно из предположений о том, как образуется огненно-жидкий расплав.

Расплав этот называется магмой. Название было предложено еще в прошлом столетии немецким ученым Г. Розенбушем. По-гречески магма означает тесто. Название не очень точно отражает состояние вещества, поскольку она далеко не всегда похожа на тесто. В магме много газов и паров, ее вязкость имеет необычайно широкий диапазон — иногда это жидкая масса, иногда малоподвижная, иногда твердопластичная. Но тем не менее этот термин теперь общепризнан, хотя некоторая условность все же сохраняется.

Магма, поступающая на поверхность при извержении вулканов, далеко не однородна по составу. Главным показателем для определения состава является содержание в ней кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ). Если его не более 45—55%, магма считается основной. Наиболее типичные породы ос-

новной магмы — базальты. Если кремнезема содержится 55—65%, магма относится уже к среднему составу. Из такой магмы образуются горные породы, называемые андезитами. Магма, относящаяся к кислому ряду, содержит 65—75% кремнезема. Наиболее типичные породы ее — дациты и липариты. От состава магмы зависят характер вулканических продуктов, форма вулканических построек, тип извержений вулканов.

Коротко остановимся на том, где же находится «дом» магматического очага. Чтобы уяснить это, необходимо привести схему строения земного шара. Самая верхняя оболочка его — земная кора. Мощность ее в среднем около 50 км. На континентах она иногда выше, а в океанических впадинах снижается до нескольких километров. Следующая оболочка — верхняя мантия, мощность которой 900 км. До глубины 2900 км прослеживается нижняя мантия. Далее, от 2900 до 6300 км, т. е. до центра Земли, следует ядро. Иногда для наглядности в качестве модели строения Земли приводят очищенное яйцо. В таком случае самая верхняя пленочка его будет представлять земную кору, белок — мантию, а желток — ядро.

Информацию о строении Земли нам дают сейсмические волны (или волны землетрясений). Свойство этих волн таково, что при переходе из одной среды в другую они меняют скорость, причем эти изменения происходят скачкообразно. На глубине 50—60 км (по выходе за пределы земной коры) скорость прохождения волн увеличивается, указывая нам границу земной коры и верхней мантии. Она называется еще границей Мохоровичича, по имени югославского физика, открывшего ее. Далее, на глубине 2900 км, сейсмические волны попадают в такую среду, где они распространяться не могут; отсюда начинается ядро Земли. Поскольку ядро не пропускает сейсмические волны, предполагается, что оно находится в жидком состоянии (через жидкость волны не проходят).

Мантия, а точнее верхняя ее часть, и является той

областью Земли, где образуются магматические очаги. Как известно, твердое вещество может плавиться лишь на глубине около 40 км, где температура поднимается примерно до 1200°C.

Однако многие ученые на основании изучения землетрясений и других данных считают, что эти глубины могут быть и значительно больше — от 60 до 250 км. Подтверждается это исследованиями Г. С. Горшкова, а также данными Е. К. Мархинина и Д. С. Стратулы, полученными при изучении вулканов Курильской островной дуги.

Магматические очаги существуют не только в верхней мантии, но и в земной коре, причем вблизи поверхности, всего на глубине нескольких километров. Это так называемые периферические очаги. Данные о существовании близповерхностных очагов получены сотрудниками Института вулканологии М. И. Зубиным, С. Г. Балестой и другими при изучении Авачинского вулкана.

Существование близповерхностных очагов подтверждается также исследованиями японских ученых.

Вблизи поверхности образуются иногда и крупные интрузивные или субвулканические интрузии. Существование их еще раз подтверждает предположение вулканологов о наличии магматических очагов на малых глубинах.

Какие же продукты поступают на поверхность Земли при извержении вулканов? В какой-то степени условно их можно разделить на газообразные, жидкие и твердые. Газы, пары воды и некоторых кислот, которыми на определенном этапе насыщена магма, являются тем подъемным рычагом, который перемещает расплав вначале ближе к поверхности, а затем и на поверхность. Когда путь к поверхности еще не проложен, расплав, пересыщенный газами и парами, силой проталкивается и преодолевает препятствие — происходит взрыв.

При взрывном (его еще называют **эксплозивным**) извержении выбрасываются твердые вулканические про-

дукты, — куски раскаленной лавы или шлаки, пемза, вулканические бомбы, лапилли, песок и пепел.

Коротко об этих продуктах.

Среди обломочного материала выделяются **вулканические бомбы** самой разнообразной формы и размеров. Они образуются из кусков лавы, поднятых на определенную высоту газами, которые интенсивно выделяются из раскаленного расплава. Однако не из всякого куска лавы может образоваться вулканическая бомба. Если расплав раскален, то оторвавшиеся от него и выброшенные в воздух куски не успевают остыть и, падая на поверхность земли, сплющиваются, деформируются и даже спекаются. Ясно, из такого расплава вулканической бомбы не получится. Но если обособляются куски из чуть остывшего расплава лавы, где уже имеется тоненькая корочка, то из них в воздухе создаются самые разнообразные по своей конфигурации бомбы. Нередко встречаются красивые винтообразно закрученные бомбы с плотной внешней оболочкой. Можно выделить удлинённо-вытянутые (веретенообразные) бомбы с утонченными концами и хорошо заметными следами вращательного движения. Бомбы округло-сплюснутые, шаровые или черепаховидные, с хорошо заметными следами трещин, также встречаются часто. Внешняя корка их довольно плотная, хотя они очень легкие благодаря большим внутренним полостям. Наблюдаются бомбы грушевидные, петлеобразно закрученные, в виде канатов, типа хлебной корки (напоминают расстрескавшуюся корку хлеба), со следами волочения и некоторые другие.

Если же сделать поперечный разрез вулканической бомбы, то в ней хорошо заметна маломощная, но плотная внешняя корочка и более пористая середина. Изредка внутри бомбы имеются и крупные полости, измеряемые несколькими сантиметрами.

Окраска вулканических бомб разная, но большей частью коричневая, густо-коричневая, иногда черная,

особенно у бомб с плотной и гладкой внешней корочкой.

Размеры бомб тоже разные — от 5—15 см до 1 м в диаметре, иногда больше; вес последних достигает нескольких тонн.

Необычайно богаты вариации форм лапилли, что означает по-итальянски — «камешки». Это также частицы раскаленной лавы, размер которых колеблется от 2 до 20 мм. Часть из них выбрасывается в твердо-пластичном состоянии, о чем свидетельствует их форма, без каких-либо следов деформации. Встречаются они в форме подковы, пальцеобразные и другие.

Весьма распространенными вулканическими продуктами являются песок и пепел. Размеры первых из них от 0,5 до 2,0 мм. Что же касается пепла, то это самый мелкий вулканический продукт, имеющий вид порошкообразной массы. При взрывных извержениях на поверхность Земли этого мелкодробленого вулканического продукта выбрасывается много кубических километров. Песок и пепел многометровым слоем покрывают не только склоны и подножие вулканов; мощные отложения их уничтожают большие лесные массивы и даже города.

Следует лишь оговориться, что ни песок, ни пепел не отвечают общепринятому понятию об этих продуктах, но эти названия прочно вошли в литературу и под ними понимаются вулканические образования, выброшенные на поверхность при взрывных извержениях.

Часто встречаются и такие вулканические продукты, как шлаки и пемза. Шлаки нередко выдаются на поверхность в больших объемах. Образуются они и на лавовых потоках. Но во всех случаях исходным материалом является основная лава, в которой содержится мало кремнезема и много железа. По внешнему облику вулканические шлаки подобны заводским, откуда и взято само название.

Пемза, или вулканическая пена, отличается от шлаков тем, что она получается из расплава кислого, т. е.

насыщенного кремнеземом. Но о ней более подробно будет сказано в разделе о вулканических горных породах.

При взрывных извержениях более глубокие части расплава обедняются газами и парами. Теперь он (расплав) уже менее насыщен ими и поэтому относительно спокойно изливается на поверхность в виде лавовых потоков. Скорость передвижения лавовых потоков разная, от нескольких метров до нескольких десятков километров в час. Итак —

**Лавовые потоки.** Они играют очень важную, иногда главенствующую роль в образовании вулканов. Изливаются лавы из главного или побочного кратера и далее следуют вниз по склону. В зависимости от рельефа местности и температуры расплава они продолжают движение далеко за пределы подножий вулканов.

Как показывают наблюдения вулканологов, андезитово-базальтовые лавы, изливающиеся из побочных кратеров Ключевского вулкана на Камчатке, имеют температуру 1100—1200°C. Поверхность потока быстро остывает, а нижние части его остаются горячими в течение 2—3 лет.

Иногда случаются, на первый взгляд, невероятные события. Раскаленный лавовый поток, излившись на ледник, не уничтожает его. Вначале поверхность ледника быстро тает, но затем таяние прекращается, хотя лавовый поток движется с прежним напором. В чем же тут дело? Объясняется это очень просто: с передней части лавового потока на лед скатываются шлаки с несколько остывшей корочкой, которые при соприкосновении со льдом быстро охлаждаются. Теперь уже лед прочно защищен от раскаленной лавы остывшей и нетеплопроводной корочкой, которая играет роль не только изолятора, но и смазки: по ней продолжает двигаться раскаленный лавовый поток. А выше лавовый поток, даже если он и не движется, остается горячим годами.

Это прекрасно подтверждается извержением побочного кратера на склоне Ключевского вулкана, которое про-



изошло в 1974 г. Значительная мощность ледникового покрова здесь сохранилась, хотя движение раскаленных лавовых потоков по нему происходило длительное время.

И совсем недавний случай: лавовые потоки Толбачинского извержения 1975—1976 гг. при движении по мощному снежному покрову передвигали его словно гигантский бульдозер. Снег испарялся лишь частично, а затем лавовый поток с остывшей коркой уже не имел на него сильного воздействия.

Сверху лавовый поток быстро покрывается коркой. Случается, что она уже поросла травой, а чуть копнешь — и можно спокойно кипятить чай.

И впрямь — пламень и лед могут жить в обнимку очень долго.

В лавовых потоках встречаются интересные находки: отпечатки древесных стволов, вымерших животных или фауны. Вулканолог Ю. М. Дубик в базальтовых лавах извержения 1975 г. нашел отпечатки фауны, но содержалась она в образцах иной породы, не вулканического происхождения. Оказывается, магматический расплав, следуя к поверхности, захватывал на своем пути обломки пород, в которых содержались эти отпечатки. Некоторые обломки претерпели сильное изменение, другие же сохранились вместе с отпечатками фауны.

Потоки бывают разные. Различают потоки гавайской глыбовой лавы (характерной для Гавайских вулканов), поверхность которой состоит из полуспекшихся обломков и мелких глыб; последние имеют неровный излом и морщинистые ограничения. Тип санторинской глыбовой лавы несколько иной (Санторин — вулкан Эгейского моря). Поверхность ее образована из свободного навала крупных глыб с ровной и гладкой поверхностью. В отдельных случаях базальтовые лавовые потоки имеют ровную, словно речная гладь, поверхность и передвигаются с большой скоростью — 15—20 км/ч, иногда больше.

На Толбачинском извержении отмечаются необычай-

но богатые вариации лавовых потоков. В некоторых случаях наблюдается совмещение в одном и том же потоке лав с волнистой и канатной поверхностью, а также фрагменты глыбовой лавы. Очень хорошо здесь же выражены потоки в виде лавовых речек.

В поперечном разрезе лавового потока различаются три слоя (хотя это и не универсальный случай): верхний слой — глыбовый; при движении потока эти глыбы сваливаются по направлению движения, образуя его основания; середина потока относительно монолитная.

Лавовые потоки при движении иногда уничтожают все на своем пути, поэтому они представляют большую опасность для населения. Можно ли предотвратить эту опасность? Оказывается, с большим трудом и отчасти риском, но все же можно. Вот только два примера. Однажды, во время извержения вулкана Мауна-Лоа на Гавайских островах, мощный лавовый поток двинулся в сторону города Хило. Над городом нависла реальная и страшная опасность. На основании многолетних наблюдений вулканологической обсерватории, изучавшей характер движения лавовых потоков, был составлен план спасения города. Суть его заключалась в том, что нужно было во что бы то ни стало изменить направление потока. На помощь пришла авиация. Было сброшено 6 т бомб, которые произвели необходимые разрушения в области истока лавы, разрушили лавовые туннели, дали выход газам и в конечном счете лавовый поток устремился по другим направлениям\*. Так был спасен город Хило. Это было давно, в 1924 г.

А вот совсем недавний случай.

В январе 1973 г. после необычайно длинной паузы, которая продолжалась семь тысяч лет, возобновил активную вулканическую деятельность вулкан Хельгаффель

\* Ф. Д. Бублейников, Д. И. Шербаков. Замечательные геологические явления нашей страны. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941.

на острове Хеймаэй в Исландии. На город с 5-тысячным населением двинулся лавовый поток. Началась схватка людей с жестокой стихией. Лава подползала все ближе и ближе к порту. Уже сгорели сотни домов и других сооружений. Но люди не сдавались. На протяжении многих недель раскаленный лавовый поток они непрерывно поливали из водометов холодной морской водой. Главное — нужно было охладить поверхность, создать такую защитную кору, через которую не мог бы просочиться огненно-жидкий расплав. На движущийся поток было вылит почти 6 млн. куб. м воды и тем самым ею охладили около 4 млн. куб. м лавы.

Люди и здесь вышли победителями, лавовый поток был остановлен. А затем началась очистка города от пепла и шлага.

Конечно, это было извержение небольшой силы. В той же Исландии, при извержении вулкана Лаки (1783 г.) только один из лавовых потоков имел длину 100, а ширину 30 км. Такой поток водометом не остановишь.

В древние времена при извержении вулкана Этны (о. Сицилия) лавовые потоки производили сильные разрушительные действия. В одном из таких извержений (1969 г.) лавовый поток, уничтоживший многие населенные пункты, имел ширину свыше 500 м.

Разумеется, этим не ограничивается излияние лавовых потоков. Это лишь единичные примеры.

Таким образом, из одного и того же расплава образуются и твердые, и жидкие продукты. Роль газов и паров при этом очень большая: если расплав пересыщен ими, он поступает на поверхность в дробленном виде, если же их сравнительно немного — расплав изливается относительно спокойно.

Отметим, что при вулканических извержениях объем газов и паров чрезвычайно велик. Чтобы представить себе, каковы могут быть их объемы по сравнению с твердыми либо жидкими продуктами, укажем, что из 1 куб. м

воды образуется 1670 куб. м пара! Газы и пары — наиболее долгоживущие вулканические явления. Когда активная деятельность вулкана минует, они еще очень долго парят из трещин на склонах вулканов, потоков лав, либо кратеров. Это так называемая **фумарольная стадия** вулканической деятельности (*fumare* — по-итальянски «дымить»). Правда, в эту стадию к вулканическим продуктам (парам и газам) примешиваются сточные воды или атмосферные осадки, которые после разогрева снова поступают на поверхность.

И еще об одних потоках следует напомнить, ибо они обладают страшной силой. Речь идет о **грязевых потоках**. И хотя они не имеют прямого отношения к лавовым потокам, образуются они при извержении вулканов. Возникают эти потоки потому, что на большую площадь, покрытую снегом, выпадает раскаленный мелкодробленый вулканический материал. Происходит необыкновенно быстрое таяние снега, в результате которого образуются мощные и бурные грязевые потоки. Такие потоки называют еще **лахарами**. Мощные и быстрые течения грязевых потоков производят большие разрушения. Например, при извержении вулкана Безымянного на Камчатке такой грязевой поток прошел по речке Большая Хапица 90 км, снося все, что встречалось на его пути.

### Формы вулканических построек

Исторически сложилось так, что представление о вулканах связано главным образом с их конусовидной формой. И это понятно, так как большинство широко известных вулканов Средиземноморья (или Индонезии) имеет именно такую форму. Поэтому Средиземноморье преимущественно и явилось источником наших знаний о вулканах. А поскольку из конусовидных гор (вулканы Везувий, Стромболи и другие) выбрасывались раскаленные мелкодробленые частицы, либо изливались огненно-жид-

кие лавовые потоки, такое представление о конусовидных вулканах и закрепилось в памяти людей.

Действительно, конусовидные вулканические горы распространены очень широко. В дальнейшем представляется возможность убедиться в том, что некоторые очень красивые, быть может самые красивые на планете, вулканические горы этого типа расположены именно на Камчатке.

Итак, о постройках, сооружениях или, что одно и то же, форме вулканов.

Самую простую форму имеют так называемые **моногоенные** вулканы. Извержение их происходит очень спокойно и только один раз, причем почти без взрывов, так как лава, из которой они образуются, слабо насыщена газами. Результатом такого извержения и будет однородный или моногоенный куполовидный вулкан. Склоны их большей частью очень крутые, иногда с обрывистыми стенками.

Конусовидный вулкан представляет из себя усеченный конус, на вершине которого находится чашеобразное углубление или кратер, а этот последний соединяется с жерлом. Образование их уже не представляет загадки, хотя происходит не всегда просто.

Для того чтобы начал создаваться такой конусовидный вулкан, необходима огромная энергия. Она и накапливается длительное время в недрах Земли. А затем происходит вулканическое взрывное извержение, иногда невиданной силы. Из жерла вырывается столбообразное облако вместе с мелкодробленым материалом. Это сопровождается грохотом и гулом, громовыми раскатами и сверканием молний. Такая активная разрядка продолжается недолго, но за какой-нибудь час-два выбрасываются километровые объемы.

В дальнейшем огненно-жидкий расплав, лишившись таких активных составных частей, как газ и пар, сравнительно спокойно изливается в виде лавовых потоков.

Спустя некоторое время прекращает изливаться и лавовый поток. Наступает пауза в деятельности вулкана, он уходит на покой, который может длиться годами, десятилетиями, столетиями, а иногда и тысячелетиями. Затем вулкан снова просыпается, начиная свою активную деятельность взрывным извержением, за которым следуют опять же лавовые потоки.

Так повторяется много-много раз. Конус вулкана увеличивается в объеме и после каждого извержения становится все выше и выше. Многослойным чередованием рыхлых вулканических продуктов (песка, пепла, шлака) и более плотных лавовых потоков создается конусовидная гора или **слоистый** вулкан. Называется он еще **стратовулканом**. Среди вулканологов утвердился наиболее прочно этот термин.

Склоны стратовулканов обычно крутые. Но как упоминалось выше, характер постройки зависит и от состава магмы. Если во время извержения преобладали очень жидкие, подвижные лавы, склоны конуса могут быть и плоскими.

Такие стратовулканы в ряде случаев достигают большой высоты — 5, а иногда и 6 км. Однако высота их не беспредельна. Наступает такой период, когда магматический расплав, поднимающийся к жерлу вулкана, не в состоянии преодолеть высоту и достичь иногда крепко закупоренного предыдущими извержениями центрального (его называют еще терминальным) кратера. В таком случае магматический расплав ищет иные пути и находит их на склонах конусов: происходит извержение из побочного (бокового) или паразитного кратера.

**Побочные или паразитные кратеры.** В течение длительной и сложной жизни конусовидный вулкан не однажды испытывал огромное давление газа и паров. Конус не мог противостоять этому напору и постепенно на определенной глубине вблизи жерла вулкана появляется трещина. Через нее и поступают на поверхность

склона конуса вулканические продукты — взрывные (или эксплозивные), при которых обычно и образуется побочный кратер. За взрывным извержением следует лавовый поток. Он также вначале изливается по склону конуса через этот кратер, а затем, при своем остывании, закупоривает его навсегда. Таким образом, через побочный кратер происходит одно-единственное извержение.

Следующее извержение находит себе другой путь, и на склоне конуса вулкана появляется еще один кратер, но, подобно предыдущему, он также будет запечатан навечно остывшим расплавом. Так может повторяться многократно. Поэтому на одном и том же вулканическом конусе побочные или паразитные кратеры встречаются очень часто. Так, на вулкане Этна их насчитывается около 300. Обычно это не очень большие конусовидной формы постройки, которыми усеян вулканический конус.

Очень характерны побочные кратеры для одного из красивейших вулканов планеты — Ключевского. В настоящее время здесь насчитывается 84 таких кратера. Наиболее важные из них — группа Туйлы, Билукая, Юбилейного прорыва и другие. Отдельным кратерам были присвоены имена академиков Обручева, Заварицкого, Левинсон-Лессинга, Комарова. Знаменит здесь Апахончич, от которого прослеживается 12-километровый лавовый поток.

Имеются побочные кратеры и на других вулканических конусах, но не столь обильные, как на Ключевском вулкане.

Но на этом «страдания» вулканического конуса не кончаются, на них происходят и другие взрывы.

**Маары** — так называются самые примитивные кратеры. Это кратеры-однодневки, взрывные воронки вулканического происхождения. Во время взрыва, когда образуется такая воронка, из нее поднимаются газ, пары, мелкодробленый вулканический материал, но почти никогда не изливаются лавовые потоки. Бывает, что не

выбрасывается даже мелкодробленый материал (пепел, песок), а выделяются только газ и пары. В результате таких извержений образуются маленькие шлаковые конусы.

Но вулканические конусы подвергаются и более серьезным испытаниям, когда образуются интересные и сложные вулканические сооружения. О них и пойдет речь.

**Сомма.** Случаются извержения вулканов такой титанической силы, что огромные вулканические конусы взрываются в одно мгновение либо полностью, либо же от них остается совсем немного. Особенно свежи в памяти совсем недавние катастрофические извержения вулканов Камчатки. Так, при извержении вулкана Шивелуч в 1964 г. взрывом был уничтожен купол Центральной вершины, купол Суелич и несколько других. Образовался новый кратер сечением 1,5×3 и глубиной до 700 м.

Немного раньше, в 1956 г., произошел громадный взрыв вулкана Безымянного, когда вершина его понизилась на 300 м.

Такое же, а быть может и более грандиозное извержение произошло на Аппенинском полуострове (Италия), когда был взорван конус вулкана Везувий. От взорванного конуса осталась лишь впадина, окруженная кольцеобразным выступом или валом. Такие остатки взорванного конуса и называются соммой. В образовавшемся кратере стал расти новый конус, новый Везувий. В дальнейшем его так и стали называть — Сомма-Везувий. Пространство между соммой и новым конусом, типа кольцевого ущелья, именуется **атрио** (на вулкане Везувий его называют Атрио дель Кавалло). Сомма на вулкане Везувий сохранилась не повсеместно, а когда-то она представляла сплошное кольцо. Как свидетельствуют об этом историки, вождь восставших рабов Спартак в 70-х годах до н. э. даже использовал эту сомму в качестве своей базы. Но после бурного пробуждения вулкана



(79 г. н. э.) сомма во многих звеньях кольца была разрушена, и в дальнейшем уже никто не пытался использовать ее в качестве оборонительного сооружения.

Таким образом, в кольцеобразной впадине старого конуса возникает новый. Образуется двойной вулкан, или конус в конусе. А так как впервые подобное строение отмечено на вулкане Везувий, то все это сооружение и назвали «Сомма-Везувий». В дальнейшем так именовали все двойные вулканы.

По типу «Сомма-Везувий» построен камчатский вулкан Авача. Это нетрудно заметить даже с большого расстояния. Прекрасно выступают остатки старого конуса, которые опоясывают своей кромкой современный конус вулкана наподобие огромного воротника. Столь же красивые двойные вулканы на Курильских островах.

Но и на этом жизнь вулканов не кончается. Бывает, что с ними происходят и еще более грандиозные события, но они уже связаны не с ростом вулканических конусов, а с их полным уничтожением, провалом. Речь идет о вулканах-кальдерах, которые так выразительны в пределах Камчатки.

**Кальдеры.** Кальдера на испанском языке означает «котел». Это своеобразные впадины, или депрессии. Они имеют самое прямое отношение к вулканическим конусам. Образование кальдер обсуждается учеными еще с прошлого века. Но споры об этом среди них продолжают и поныне. Одни ученые считают, что происхождение кратера и кальдеры одинаковое, различаются они только размером. Если размер впадины очень большой, значит, это и есть кальдера, в противном же случае — кратер. За основу здесь берется размер, величина. Другие с этим не согласны и предлагают принимать за основу не размеры впадин, а их происхождение, т. е. генетический признак. В настоящее время большинство исследователей сходится на том, что главным, определяющим, является именно генетический признак. Спор этот далеко

не беспредметный. Кратеры, расположенные на вершине вулканических конусов, теснейшим образом связаны с подводящим каналом или жерлом. Кальдеры же к ним непосредственного отношения не имеют. Отсюда видно, что различия между кратером и кальдерой довольно существенны. Если кратер образуется при взрывном извержении, в результате выброса или сноса большого объема материала, то кальдера получается иначе.

Нам уже приходилось говорить о том, что извержения вулканов происходили по-разному. В одних случаях они совершались мгновенно, в других продолжались очень долго. Но и в том, и в другом случае магматический очаг, откуда поступают продукты извержений, постепенно истощается. Громадные объемы кровли как бы провисают над этим опустевшим пространством, и в конечном счете происходит проседание, провал, в результате которого образуется кальдера. Размеры ее бывают огромными — 10—20, а то и 25 км в диаметре.

Можно подумать, что вулкан Плоский Толбачик на Камчатке подслушал многочисленные споры ученых. Эти споры наскучили ему и он взялся помочь ученым принять окончательное решение по этому вопросу. Вот что с ним случилось совсем недавно (1975—1976 гг.).

В начале июля 1975 г. к югу от кратера Плоского Толбачика произошло извержение. Оно было сосредоточено поочередно в двух местах: одно ближе к Плоскому Толбачику, другое немного дальше от него. Это, последнее, было названо Южным прорывом, и оно, вероятно, было больше всего связано с магматическим очагом, находящимся под кратером вулкана. Когда произошло опустошение или ослабление этого очага, кровля над ним не удержалась и рухнула, образовав провал диаметром 1700 м и глубиной 400—500 м. Так на глазах людей образовалась кальдера Плоского Толбачика. Вероятно, это один из тех случаев, который оказал неоценимую услугу сторонникам провального происхождения кальдер.

Может возникнуть вопрос, а много ли выдается на поверхность вулканического материала из того или иного магматического очага, чтобы могло произойти обрушение или провал? Всякое бывает. Во время извержения вулкана Кракатау (Индонезия) было выброшено  $18 \text{ км}^3$  обломочного материала. При извержении вулкана Косегвина выброшено около  $50 \text{ км}^3$ . Но непостижимо большой объем вулканического материала поступил на поверхность при извержении вулкана Тамбора (тоже Индонезия): считают, что его было более  $100 \text{ км}^3$ . Ясно, что в результате таких катастрофических извержений происходит колоссальное опустошение подземелья и оно дает о себе знать. Нависающая над такой пропастью огромная тяжесть горных пород кровли проваливается, образуя впадину или кальдеру.

Имеются и другие впадины или депрессии, но мы их касаться не будем, это уже вопрос специальный. И все же об одной из них напомним. Речь идет о вулcano-тектонических впадинах. Они представляют большой интерес и сами по себе, а также по той причине, что с породами, которые причастны к таким впадинам, иногда связаны рудные месторождения.

Такие впадины возникают не только в областях развития вулканизма, но порой и там, где он отсутствует. В плане они имеют форму кольца или эллипса. Проседание таких впадин происходит вследствие образования круговых тектонических разломов. Размеры подобных впадин бывают поразительно велики; нередко они превышают в диаметре  $100\text{--}120 \text{ км}$ .

Конусовидная форма вулканов весьма распространена, но она не единственная, есть и другие.

**Щитовые вулканы.** Эти вулканы образуют уже иной тип построек. Вулканические продукты, главным образом лавовые потоки, поступающие на поверхность из центрального канала, имеют небольшую вязкость, поэтому обладают большой подвижностью и покрывают огромные

площади. При застывании эти лавы образуют плоские платообразные тела. Но извержение повторяется многократно и в конечном счете получается мощный щит, или щитовой вулкан. Для него характерны весьма пологие склоны, не превышающие  $10\text{--}12^\circ$ , а у подножия и того меньше — всего несколько градусов.

Классическим примером щитового вулкана могут служить ныне действующие вулканы Гавайских островов, в частности, Мауна-Лоа, который к тому же является самым крупным вулканом нашей планеты. Только надводная часть его выступает на  $4170 \text{ м}$ , а общая высота превышает  $9000 \text{ м}$ . Щитовые вулканы имеются и в Исландии, хотя по величине они значительно уступают Гавайским.

Следующий тип — **трещинные вулканы**. Как показывает само название, образуются они в результате трещинных извержений, преимущественно при излиянии лавовых потоков.

Образование трещинных вулканов можно было проследить на примере Толбачинского извержения  $1975\text{--}1976 \text{ гг.}$  Но извержение еще не закончилось и, вероятно, оно таит в себе еще много интересного, непознанного.

Выделяется еще один тип вулканических построек — **плато**. Образуются плато в результате трещинных излияний и нередко занимают огромные площади. Среди них наиболее известны базальтовые плато. В нашей стране они широко распространены в Сибири. В Индии известно знаменитое плато Деккана площадью  $650 \text{ тыс. км}^2$ . Имеются базальтовые плато в Исландии и во многих других местах.

## Типы извержений вулканов

Уже давно замечено, что извержения вулканов происходят по-разному, каждому присущи свои особенности, свой «почерк». Когда было накоплено много данных по

извержениям, естественно, возникла необходимость привести их в порядок. Первая классификация типов извержений была предложена еще в 1907 г. итальянским ученым Дж. Меркалли. Позднее (в 1914 г.) она была дополнена А. Лакруа и Г. Вольфом.

Каждый тип извержений назван по имени того вулкана, где он наиболее ярко проявился или впервые был замечен. Поскольку на протяжении длительного времени внимание ученых было сосредоточено на изучении вулканов средиземноморской вулканической провинции, многие типы извержений, естественно, названы по имени этих вулканов.

**Гавайский тип.** На главном острове Гавай находится крупнейший вулкан Земли — Мауна-Лоа. Характерная особенность его состоит в том, что базальтовые расплавы здесь изливаются относительно спокойно, без взрывов; расплав слабо насыщен газами и имеет небольшую вязкость, хотя иногда и возникают необыкновенно эффектные лавовые фонтаны. В результате такого извержения вулкан имеет очень пологие склоны, на которых расположено несколько кратеров. Самый большой из них — Келауза. В силу этого гавайский тип извержений называют еще по имени этого кратера — тип Келауза.

**Везувийский тип.** Назван по имени знаменитого вулкана Везувия, расположенного в Италии близ Неаполя. Известен своим катастрофическим извержением, разразившимся в 79 г. н. э., которое красочно описано древнеримским ученым Плинием Младшим. Тогда под толщей вулканического пепла и грязевых потоков были погребены три города — Геркуланум, Помпеи, Стабии. Для этого типа характерны сильные взрывные извержения вследствие периодической закупорки жерла вулкана, а также последующее излияние лавовых потоков.

**Тип Стромболи.** Расплав этого вулкана имеет основной состав и в то же время обладает некоторой вязкостью. Поэтому излияние лавовых потоков чередуется со взры-

вами, при которых выбрасываются бомбы и базальтовый шлак.

Стромболи — вулкан Липарских островов — примечателен тем, что постоянно действует, являясь своеобразным маяком Средиземного моря.

**Тип Санторин.** Выделяется по вулкану, расположенному в Эгейском море. Здесь изливаются лавы среднего состава, имеющие значительную вязкость и весьма характерную для этого вулкана глыбовую поверхность. В пределах древней кальдеры наблюдается рост новых вулканических конусов, что также характерно для данного типа извержений.

**Тип Пеле.** Вулкан Мон-Пеле, по которому выделяется этот тип извержения, расположен на о. Мартиника (группа Малых Антильских островов в Атлантическом океане). Ему свойственны раскаленные пепловые тучи и рост купола в кратере вулкана. Впервые на этом вулкане был отмечен направленный взрыв, охвативший большую площадь (рис. 2). Вулкан Мон-Пеле получил широкую, но печальную известность после катастрофического извержения 8 мая 1902 г. При извержении вулкана раскаленной палящей тучей, которая двигалась со скоростью 500 км/ч, был полностью уничтожен г. Сен-Пьер. По прописи судьбы из 30-тысячного населения города в живых осталось только два человека: один из них — заключенный — находился в одиночной подвальной камере и отделался лишь сильными ожогами; другой во время взрыва находился в доме, защищенном от вулкана обрывистой скалой. Люди погибали не столько от ожогов, сколько от удушья, вдыхая раскаленные частицы пепла. Находящиеся в бухте 15 парусных шхун были перевернуты взрывной волной и затонули, а все члены экипажей погибли. Сильные повреждения получили и два судна, многие члены экипажей и пассажиры которых также погибли. Но этим дело не кончилось. Взрывы повторялись еще дважды — 20 мая и 30 августа того же года. При

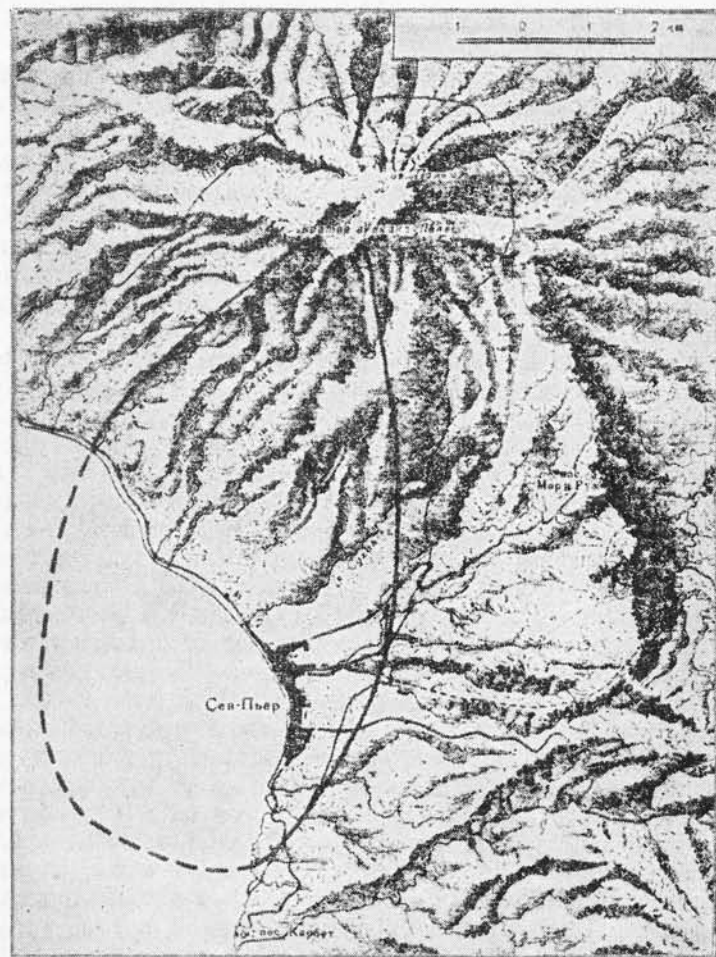


Рис. 2. Район вулкана Мон-Пеле (А. Ласгоix, 1904). Толстой черной линией обозначена граница области направленного взрыва 8 мая 1902 г.

последнем в поселениях, расположенных вблизи г. Сен-Пьер, погибло около 2 тыс. человек.

Когда эта внезапная и страшная разрядка кончилась, в кратере стал расти купол — каменный обелиск, что весьма характерно для вулкана Мон-Пеле. Подымался он из кратера очень эффектно — раскаленный монолит как бы просвечивался насквозь. За короткий промежуток времени он достиг 400-метровой высоты, но затем, при последующих извержениях, разрушился.

Рост куполов после извержения наблюдается и в некоторых вулканах Камчатки.

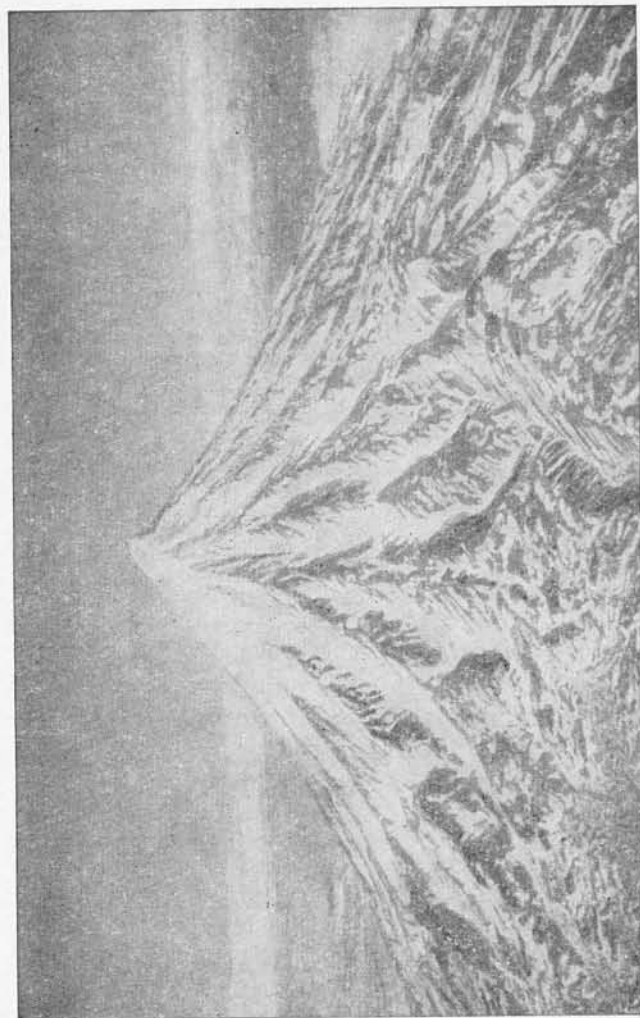
**Тип Вулкано.** Вулкан Вулкано, находящийся на Липарских островах, также весьма знаменит — ведь отсюда происходит и сам термин «вулкан». Для него характерно извержение относительно кислых вулканических продуктов (андезито-дацитового состава). Вследствие большой вязкости расплава происходит закупорка жерла вулкана; скопившиеся пары и газы взрывают эту пробку, выбрасывая на большую высоту пепел и другие лавовые частицы разнообразных форм и размеров.

**Тип Этна.** На значительном удалении от Вулкано, на о. Сицилия, находится весьма активно действующий вулкан Этна. Он извергает вулканические продукты преимущественно среднего (андезитового) состава. Наблюдается чередование взрывов с относительно спокойным излиянием лав. Но самая характерная черта вулкана — появление на его склонах огромного количества (около 300) паразитных кратеров. Из них главным образом, и извергаются раскаленные лавы. Объясняется это тем, что расплав не может пробиться к вершинному кратеру вулкана, ибо подводящий канал — жерло — закупорен предыдущими порциями. Поэтому расплав устремляется туда, где ему легче пробиться. Такими местами в данном случае являются склоны вулкана, ослабленные многочисленными трещинами. Эти трещины по отношению к жерлу вулкана нередко имеют радиальные направления.



**Катмайский тип.** Для данного типа извержений также характерны грандиозные взрывы направленного действия, когда раскаленные тучи мелкодробленого вулканического материала покрывают громадные пространства. Вулкан Катмай, расположенный на Аляске (восточная часть Аляутской вулканической дуги), стал знаменит после катастрофического извержения, которое началось 6 июня 1912 г. В результате под мощным слоем раскаленного песка и пепла были погребены и глубокие речные долины, и лесистые холмы. На большой площади, покрытой этими вулканическими продуктами, до сих пор дымится бесчисленное количество фумарол, поэтому данная местность получила название «Долины десяти тысяч дымов». Как увидим ниже, «тысячи дымов» свойственны и некоторым вулканам Камчатки.

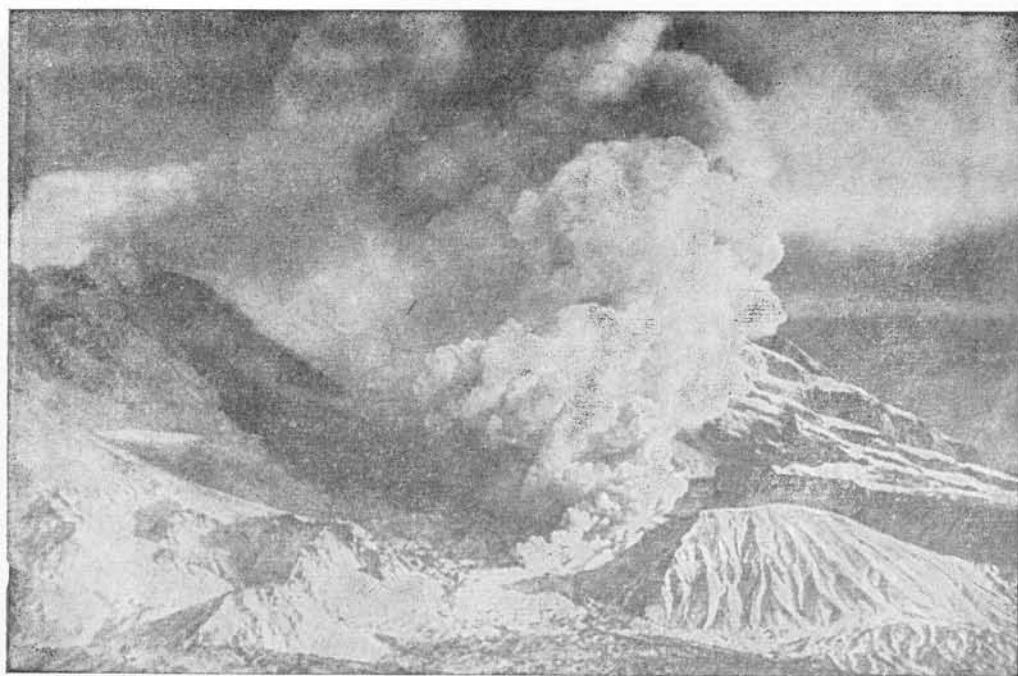
**Тип Безымянный.** Он стал известен после изучения его вулканологами Г. С. Горшковым и Г. Е. Богоявленской. Для него характерны редкие, но гигантские извержения, которые начинаются направленным взрывом. Это в какой-то степени подобно направленному взрыву вулкана Катмай. Механизм извержения на Безымянном был тот же, что и на вулкане Катмай, а вулканические продукты в них оказались разными. Это объясняется тем, что начальная температура у них была различной: продукты вулкана Катмай отличались более высокой температурой, чем и объясняется спекание рыхлых продуктов и превращение их в игнимбриты (что означает «паллящая туча» или «огненный ливень»). При извержении вулкана Безымянного этого не произошло, так как начальная температура в нем была более низкой. Это первая особенность извержения вулкана Безымянного. Вторая отличительная особенность заключается в том, что после взрыва в кратере его начал расти купол. Как показывают наблюдения и точные замеры, скорость роста, особенно сразу после катастрофического взрыва, была довольно значительной — 3—4 м/сут. К настоящему времени высота



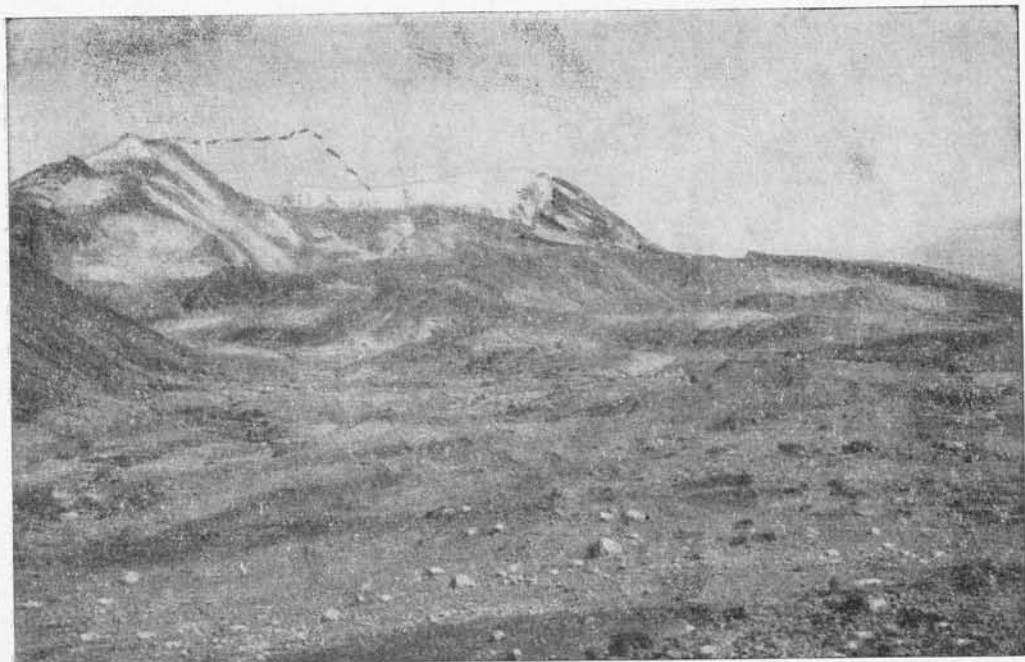
Характерные конусовидные формы вулканов: Кровоцкий на Камчатке.



Тятя на Курильских островах.



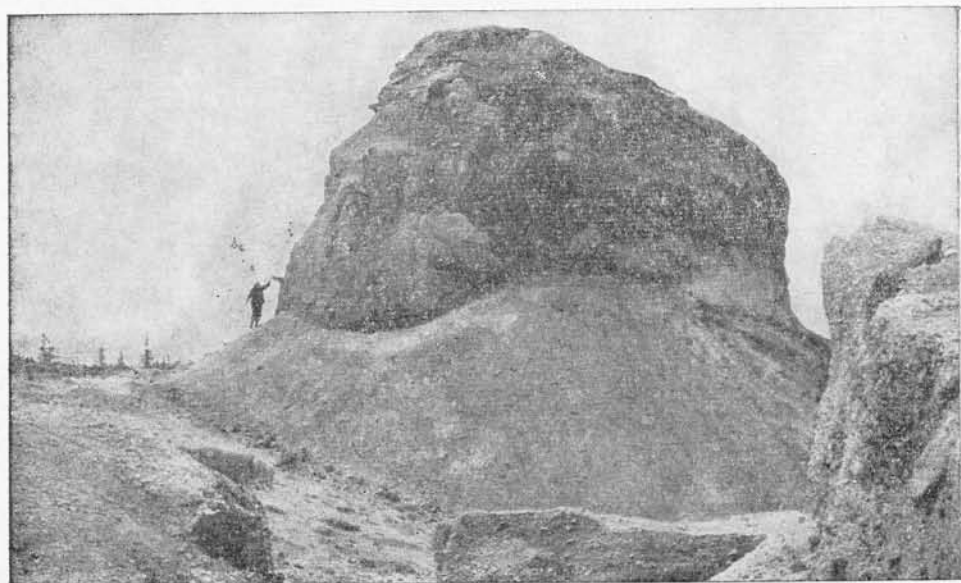
Извержение Шивелуча в 1947 г.



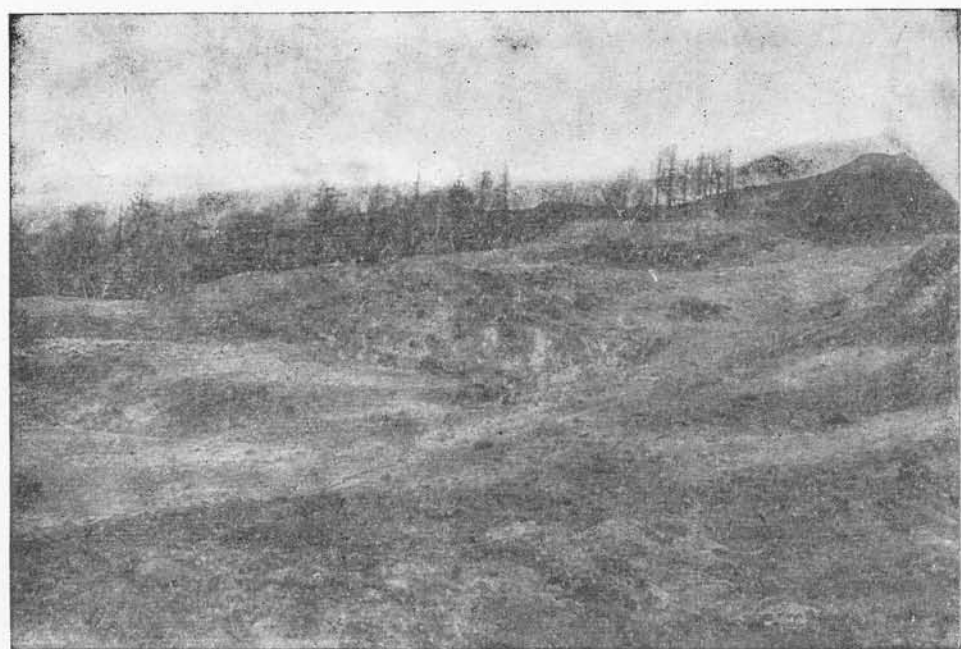
Контуры вулкана Шивелуч до взрыва 1964 г. (пунктирная линия) и после.



Выброшенная взрывом глыба весом около 3000 т была перенесена на расстояние до 2 км от места взрыва.

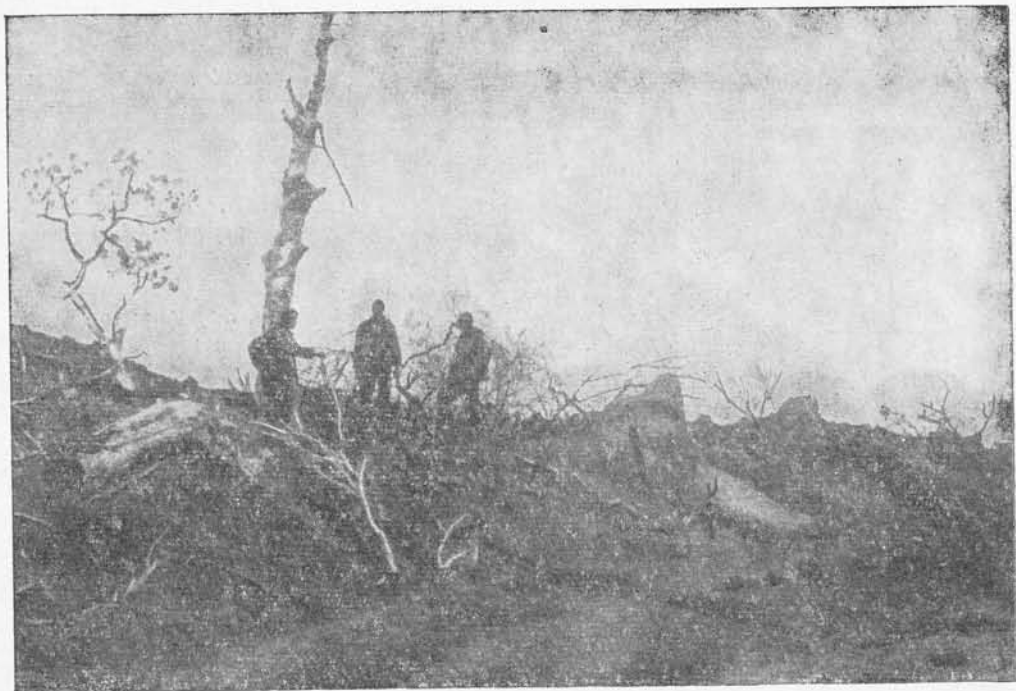


А эта глыба переброшена на расстояние 11—12 км от места взрыва.



Так раскаленными вулканическими породами уничтожен большой массив леса.

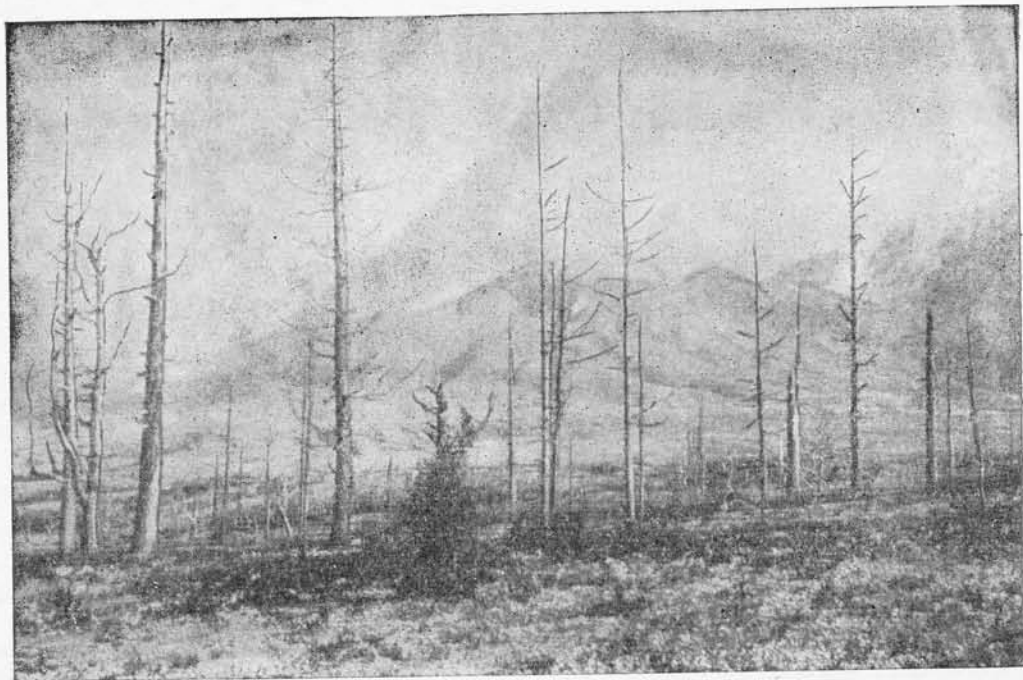




После взрывного извержения остались только единичные обломанные и изувеченные деревья.



Грязевой поток «проложил» себе путь в лесу (теперь уже бывшем).



Лес, умерщвленный пеплопадом при извержении вулкана Шивелуч в 1964 г. (на **значительном удалении от места извержения**).

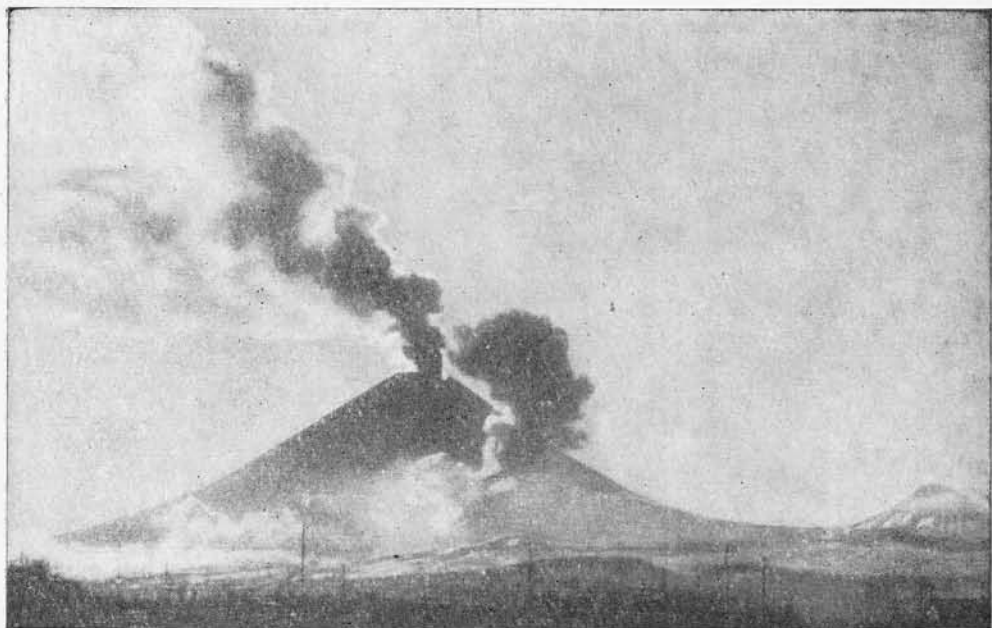


Русло реки, засыпанное раскаленными движущимися обломками вулканического материала. Теперь здесь сухо.

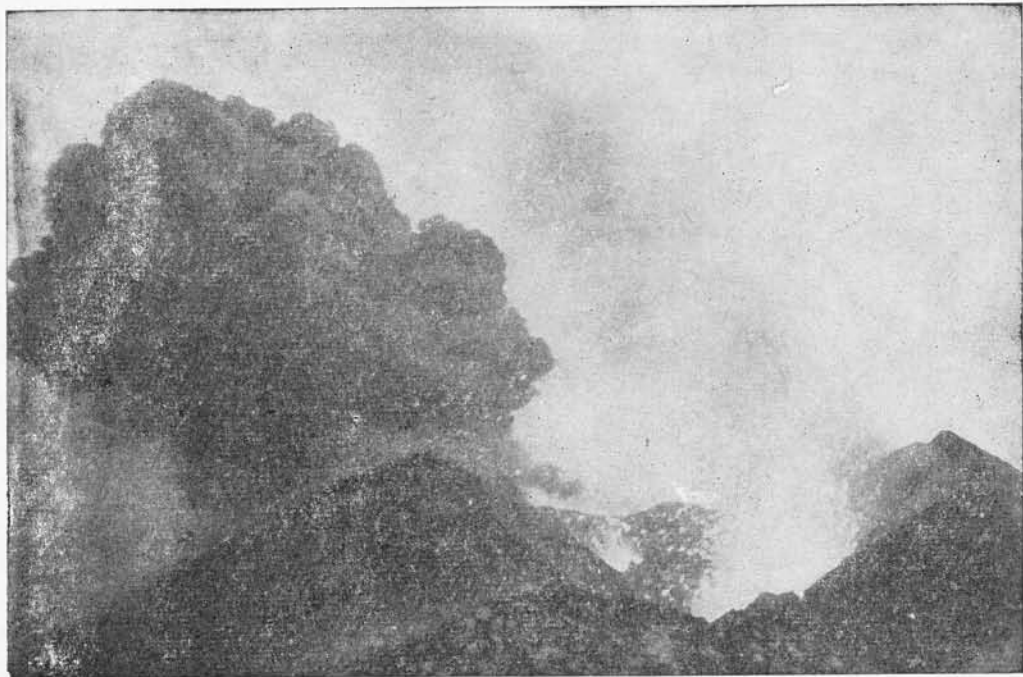




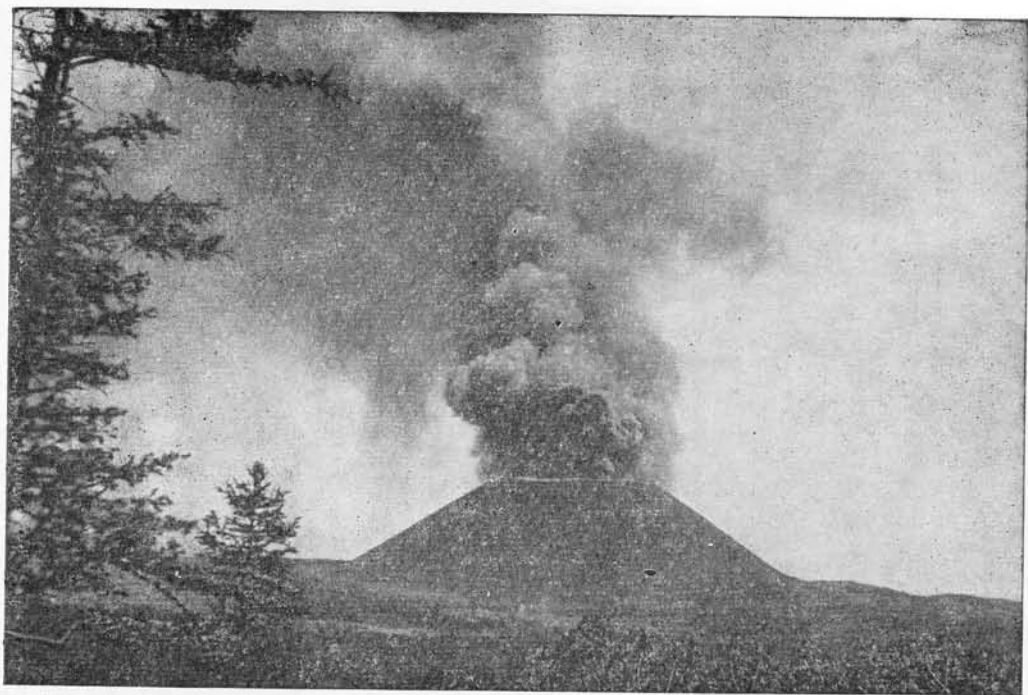
Факелы Ключевской сопки. Ровная струя раскаленных обломков и газа устремлена ввысь.



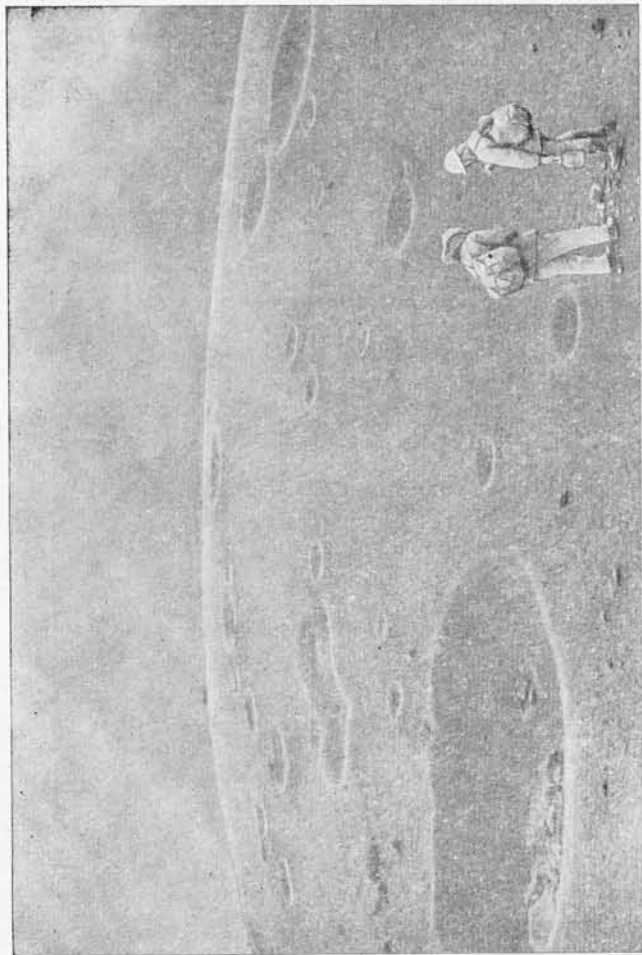
Огненные струи, выходящие одновременно из главного (терминального) и бокового (паразитного) кратеров Ключевской сопки.



Извержение Ключевского вулкана в 1966 г. Пепловая туча над одним из побочных кратеров.



Взрывные извержения Толбачинских вулканов. Выброс газо-пеплового облака на многокилометровую высоту. Северный прорыв. Фото В. А. Подтабачного.



«Лунный» ландшафт, созданный извержениями Новых Толбачинских вулканов в 1975—1976 гг. Фото В. А. Подтабачного.

купола превосходит 500 м, но рост его продолжается.

Приведенными сведениями не исчерпывается многообразие типов извержений. Здесь перечислены только те из них, которые в той или иной мере присущи вулканам Камчатки. Как будет видно из дальнейшего изложения, каждый вулкан проходит несколько стадий в своем развитии, соответственно этому разными могут быть и типы извержений, которые зависят от состава магмы, ее вязкости, геологической обстановки и некоторых других факторов.

### Много ли вулканов на Земле?

Очень много. Их можно насчитать десятки тысяч на континентах и еще больше в пределах океанов. Как полагают ученые, только в Тихом океане находится не менее 10 тысяч вулканов. Однако действующих вулканов сравнительно немного. По данным профессора В. И. Влодавца, на 1973 г. насчитывалось 817 действующих вулканов, в том числе: наземных датированных — 493; наземных недатированных — 49; подводных — 74; сольфатарной стадии деятельности, т. е. спокойно выделяющих газы и пары, — 201.

Вулканы расположены на Земле не беспорядочно, а подчинены определенным закономерностям. Даже в палеозойское время, т. е. около 400 млн. лет назад, вулканическая деятельность была сосредоточена в определенных поясах, свидетельством чему являются горы протяженного Уральского хребта и некоторые другие места.

Еще более древние вулканические сооружения известны в Сибири.

Обычно вулканы сосредоточены там, где имеются крупные разломы земной коры, где еще не закончены процессы горообразования. Выделяется три главных зоны расположения вулканов: районы, где континентальная кора граничит с корой океанической; континентальная группа, главным образом система горных стран Европы и Азии, а также Африки, преимущественно в пределах глубинных разломов; океанические впадины, Атлантический и особенно Тихий океаны.

Широко известны вулканы океанических впадин. В Атлантическом океане особое место занимает Исландия, где сосредоточено около 140 вулканов, в том числе 40 из них действующих. Да и остров Исландия возник благодаря вулканической деятельности. Вулканы здесь особенные: извержение происходит не из определенных центров или жерла, когда создаются конусовидные горы, а из трещин. Примером может служить вулкан Гекла, вытянутый в виде хребта. Он известен многими извержениями, но сильнейшее из них, продолжавшееся 13 месяцев, произошло в 1947—1948 гг. Не менее знаменит здесь и вулкан Лаки.

Упомянутый ранее вулкан Мон-Пел, послуживший одним из прототипов извержений, также расположен в Атлантическом океане — в группе Малых Антильских островов. В отличие от Исландии здесь происходят извержения центрального типа, вследствие чего образуются вулканы конусовидной формы. Известно много вулканов и на других островах, среди которых можно назвать Азорские и острова Зеленого Мыса.

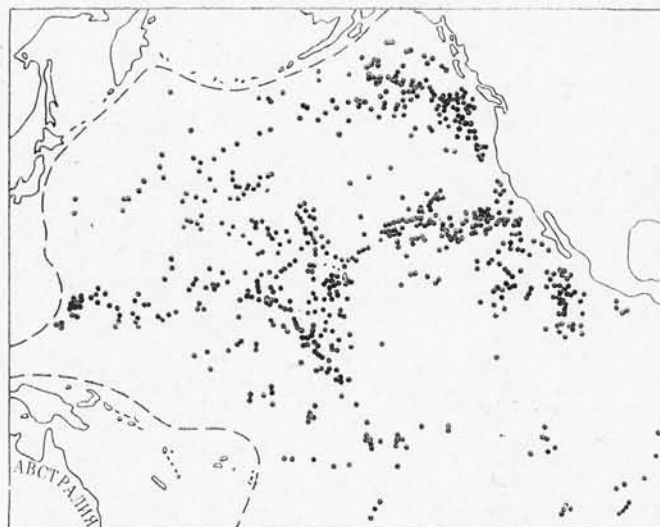


Рис. 3. Тихий океан усеян вулканами. На карту нанесены вулканические горы, возвышающиеся над дном океана более чем на 1 км (Menard, 1959).

Еще более знамениты вулканы Тихого океана. Некоторые вулканы Гавайского архипелага стали нарицательными (гавайский тип извержений). Архипелаг этот вытянут почти на 1900 км. Самый большой из них — остров Гавай — образован в результате многократного излияния жидкой, обладающей слабой вязкостью, лавы. Здесь расположены два очень больших вулкана — Мауна-Кеа и Мауна-Лоа. Вулканы знамениты тем, что из них постоянно изливаются огненные потоки лав, а в вулкане Келауза базальтовая лава нередко даже фонтанирует.



Тихий океан, можно сказать, «усеян» вулканами (рис. 3), но за редким исключением (Гавайи) они давно прекратили свою деятельность.

На континентах вулканы не столь обильны (полагают, что их здесь всего около 2%). Но некоторые из них весьма эффектны. Это прежде всего действующие вулканы. Величественно выглядит вулкан или горный массив Килиманджаро — самая высокая гора Африки (около 6000 м). Интересный и своеобразный вулкан Нирагонго: в кратере его постоянно находится озеро кипящей лавы с температурой около 1100°C.

В Европе столь эффектных вулканических сооружений и действующих вулканов нет. Однако древние вулканические гряды создают великолепные пейзажи, которые ничем не напоминают о былых грозных явлениях природы. Особенно красивы вулканические горы Франции, Чехословакии, Венгрии, Румынии, советских Карпат, среди которых выделяется Выгорлат-Гутинская гряда.

На Азиатском континенте вулканы сосредоточены главным образом в Юго-Восточной Сибири, отчасти на Северо-Востоке нашей страны и в Приморье, а также в Монголии, Маньчжурии, Китае. Действующих вулканов здесь нет, но хорошо известны молодые вулканы, которые прекратили свою деятельность всего несколько сот лет назад (Ануйский, Балаган-Тас, Вилибина и некоторые другие).

Но больше всего вулканов расположено на стыке океанической коры с корой континентальной, где они приурочены к альпийским складчатым горам. По данным проф. В. А. Апродова, в этой зоне сосредоточено около 77% вулканов.

Много известных вулканов в Средиземноморско-Зондском поясе: Этна, Стромболи, Везувий, вулканы Липарских островов и острова Сицилии в Эгейском море и др. Необыкновенной, иногда трагической активностью обладают вулканы Малых Зондских островов, Явы, Суматры.

Интересна и величественна Кавказская вулканическая провинция. Кто в нашей стране не знает вулканических гор Кавказа, знаменитых и высочайших в Европе вершин двуглавого Эльбруса (5633 м) и Казбека (5043 м)? Их искрящиеся ледяные шапки видны на многие десятки и даже сотни километров. Эльбрус — единственный молодой вулкан Кавказа и, как полагают некоторые ученые (В. И. Петров, Ю. П. Масуренков), его можно отнести к ныне действующим вулканам, так как на его склонах обнаружены выходы горячих паров.

Активно проявился новейший вулканизм в Закавказье. В Армении много оригинальных и хорошо сохранившихся вулканических конусов, среди которых наиболее отчетливо выделяется вулканический массив Арагац (4095 м). Величественно возвышаются многократно вознесённые вулканы Большой Арарат (5156 м) и Малый Арарат (3914 м). Лавовые потоки Большого Арарата почти достигают р. Аракса, являющейся границей между Советским Союзом и Турцией.

Южнее Каспийского моря, в Иране (Юго-Западная Азия), находится высокогорная цепь Эльбурс, где возвышается вулкан Дамавенд (5670 м), а вблизи оз. Ван (в Турции) — вулкан Тендюрюк, которые, как полагает проф. В. П. Петров, проявляли активность в историческое время.

Но как Средиземноморско-Зондский пояс, так и Кавказскую вулканическую провинцию ни по количеству, ни по масштабу их деятельности нельзя сравнить с вулканами побережья Тихого океана, где они образуют почти замкнутое кольцо. О нем и пойдет речь ниже.

### **Тихоокеанское огненное кольцо**

В него входят Камчатка, Курильские острова, Япония, Филиппины, Индонезия, Новая Зеландия, западное побережье Центральной и Северной Америки вплоть до Калифорнии, и замыкается это кольцо вулканическими поясами Аляски и Алеутских островов. Это действительно огненное кольцо, и почти нет ни одного из его звеньев, где бы не бушевала стихия кипящего камня, где бы бог огня Плутон находился в покое.

Коротко о некоторых вулканах этого кольца.

На самом севере Курильской островной дуги возвышается красивейший остров — вулкан Алаид. Он прельщает своим величием и гордым одиночеством. Существует даже легенда о том, что когда-то Алаид находился в Курильском озере на Камчатке. Но его красота не давала покоя другим вулканам. И в конце концов Алаид вынужден был уйти из озера в Тихий океан, оставив, однако, там свое сердце. Так, в Курильском озере в виде одиночной скалы сердце Алаида находится и ныне.

Несколько южнее, на о. Парамушир, расположен вулкан Эбеко, знаменитый своими сольфатарными полями. Широко известен также вулкан Палласа на о. Кетой, Пик Сарычева на о. Матуа, Пик Креницына на о. Онекотан и особенно Тятя на о. Кунашир.

Среди японских вулканов выделяется знаменитый вулкан Фудзияма, расположенный вблизи Токио. Для японцев это священная гора, которой они поклоняются. Другой вулкан — Бандай-Сан, по имени которого тоже выделяется тип извержений, — известен своим катастрофическим взрывом в 1888 г., в результате которого была снесена его вершина и высота вулкана уменьшилась на 640 м.

Вулканы Филиппин сравнительно безобидные, но зато в Индонезии они причиняют много бед. Усугубляется это еще и большой плотностью населения страны. Совсем недавно, в 1963 г., произошло извержение вулкана Агунг на о. Бали. В результате этого извержения погибло 2 тыс. человек. Но его нельзя сравнить с катастрофическим извержением вулкана Кракатау (1883 г.), когда взрывом было поднято в воздух 18 км<sup>3</sup> породы! Воздушная волна опустошила г. Джакарту. Много разрушений произвели вызванные этим извержением морские волны — цунами. В итоге погибло 40 тыс. человек.

Через острова Новой Зеландии как бы перекидывается мост к Южной Америке. Здесь почти в меридиональном направлении на многие тысячи километров вытянута горная система Анд с большим числом вулканов, среди которых много активно действующих. Столь же густо «населены» вулканами и районы к северу — Перуанско-Чилийский и Колумбийско-Эквадорский.

Побережье Центральной Америки (Мексика) также необычайно насыщено вулканами, над которыми господствует красавец Попокатепетль (5452 м). Как упоминалось ранее, к западу от него в 1943 г. появился «младенец» — вулкан Парикутин.



Далее к северу, к району Калифорнии, столь величественных вулканических сооружений нет, но некоторые из них хорошо изучены, особенно это относится к вулкану Лассен-Пик, который представляется эталонным при изучении пород других вулканов.

Северным звеном этого кольца является Аляска. Здесь находится самый высокий в Северной Америке вулкан Мак-Кинли (6187 м). Но более известен на Аляске малоприметный по «росту» вулкан Катмай (всего 2286 м). Он стал знаменит после катастрофического извержения в 1912 г. Извержение было столь своеобразным, что обусловило выделение особого типа, прочно вошедшего в классификацию.

Отсюда в юго-западном направлении протянулась Алеутская дуга, которая и замыкает тихоокеанское огненное кольцо.



Мы упомянули лишь о тех вулканах, которые по тем или иным причинам стали известны миру. Но даже из короткого перечня видно, что вулканы размещены в определенных местах. Чем же это обусловлено? Прежде всего структурой земной коры и верхней мантии. Главным, определяющим, являются глубинные разломы. Они проникают иногда на десятки и сотни километров в глубину, достигая магматических очагов, и прослеживаются в длину на многие сотни и даже тысячи километров.

Для примера укажем, что вдоль восточного побережья Камчатки, а также Курильских островов прослеживается

протяженный глубоководный (глубиной свыше 10 км) желоб, служащий границей между океанической и континентальной корой. Этот желоб (или разлом) вместе с другими, менее значительными, образует широкую ослабленную зону, которая способствует проникновению расплавов; здесь-то и возникают благоприятные условия для вулканической деятельности.

Такая же структура земной коры присуща Японии и некоторым другим местам огненного кольца, где присутствуют аналогичные разломы. Глубина их лишь немногим уступает разломам, расположенным вдоль Камчатки и Курильских островов.

А теперь переместимся на Камчатку, которая на огромном пространстве озарена факелами Плутона.

## КАМЕННЫЕ ФАКЕЛЫ КАМЧАТКИ



Первые сведения о вулканах Камчатки приведены известным исследователем XVIII столетия С. П. Крашенинниковым, Вот что писал он, передавая легенду туземцев: «...на других высоких горах, с которых снег никогда не сходит, живут особливые духи, а главный из них Билучей или Пиллячучь называется. Чего ради камчадалы как близ огнедышащих гор, так и подле других высоких ходить опасаются». В XIX столетии некоторые сведения о вулканах были даны в работах А. Эрмана и К. Дитмара, а в начале XX в. — К. И. Богдановича.

Систематическое изучение вулканов Камчатки ведется по существу с 30-х годов, когда была организована Ключевская вулканологическая станция. Большой вклад в изучение вулканов Камчатки внесли акад. А. Н. Заварицкий, известный советский ученый проф. В. И. Влодавев и чл.-кор. АН СССР Б. И. Пийп.

На Камчатке насчитывается 141 вулкан, из них 28 действующих. Все активно действующие вулканы сосредоточены в Восточной Камчатке (рис. 4). Исключение составляет только вулкан Ичинский, действующий в одиночку среди многочисленных потухших вулканов Срединного хребта. Да, «Бог огня» здесь потрудился на славу, не только теперь, но и в далеком прошлом. Это хорошо заметно по строению рельефа Камчатки.

А теперь приведем сведения о наиболее интересных действующих вулканах и самых значительных извержениях. Начнем это с вулкана, который в ряду действующих на Камчатке является самым северным, и мы узнаем...

## Буйный характер Шивелуча

Шивелуч — огромное вулканическое сооружение. Диаметр его основания равен 40 км, а площадь почти 1200 км<sup>2</sup>. Вулкан расположен на пересечении разломов, и это, по-видимому, определяет его необычайную активность.

Извержения Шивелуча происходили нередко, ведь это один из наиболее активных вулканов Камчатки. Случались и катастрофические. Одним из них многие сотни лет назад было погребено древнекамчадалское поселение. Следы сохранились и поныне. Оно находилось по правобережью р. Камчатки, на небольшом холме, у теперешнего пирса пос. Ключи. Вулкан не однажды давал волю своим страстям и позднее. В XX столетии подобные извержения происходили в 1928—1930 и в 1944—1950 гг. При последнем извержении из кратера выбрасывались раскаленные тучи и разной величины обломки. Некоторые извержения продолжались долго, а отдельные вспышки их отличались большой силой.

Но особенно выделяется гигантское извержение 1964 г., которое в какой-то мере напоминало извержения вулканов Катмайского и Мон-Пеле. Такого сильного извержения здесь не было более 100 лет. Оно оказалось очень своеобразным и характерным для Шивелуча, поэтому расскажем о нем подробнее.

Погожим осенним днем 12 ноября 1964 г. около 7 ч утра (в это время здесь рассвет) внезапно над вулканом на высоте 10—15 км появилась пепловая туча. Ее пронизывали в разных направлениях яркие молнии, которые сопровождалась мощными раскатами грома. Гром и гул были слышны на расстоянии до 50—70 км. Туча, все увеличиваясь в размерах, закрыла небосвод и с большой скоростью двигалась к востоку, в сторону Тихого океана. Это неистовство продолжалось около часа, затем сила извержения пошла на убыль. Через полтора часа после начала извержения пепловая туча нависла над Усть-Кам-

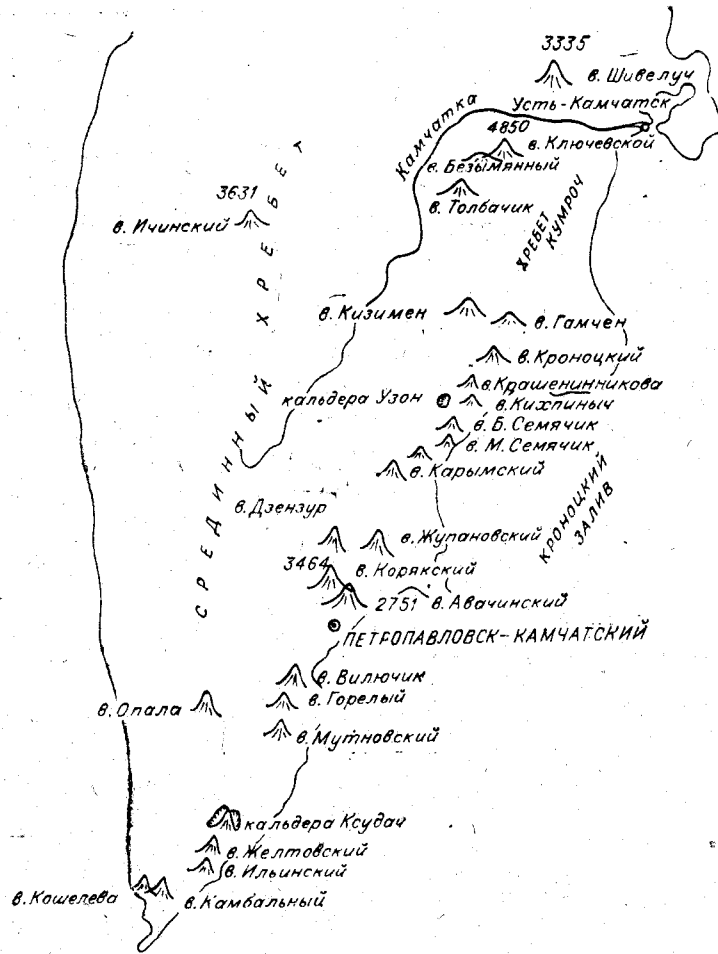


Рис. 4. Расположение действующих вулканов Камчатки.

чатском (расстояние от вулкана около 100 км). Поселок погрузился в непроглядную темноту. Начался обильный пеплопад. На каждый квадратный метр площади за короткое время выпало 28 кг пепла! А через несколько часов пепловая туча достигла Командорских островов.

Во время извержения даже на значительном удалении от вулкана (50 км и более) атмосфера была весьма насыщена электрическими разрядами; нарушена радио- и телефонная связь. В результате сильных электрических разрядов появились так называемые «огни Эльма»\*.

Что же случилось с вулканом?

Произошел направленный взрыв необычайной силы, который уничтожил купол Центральной Вершины, Суелич и несколько других куполов. Образовался новый кратер вулкана сечением  $1,5 \times 3$  км и глубиной до 700 м. Общий объем взорванного материала  $1,5 \text{ км}^3$ .

Такие извержения происходят очень редко, но тем не менее данное не было неожиданным. Ему предшествовала длительная сейсмическая подготовка — вулканические землетрясения. Первые признаки этого землетрясения появились еще в январе 1964 г., затем более сильные — в мае и октябре. А за сутки перед извержением зарегистрировано 73 землетрясения.

При этом взрыве огромные глыбы весом в тысячи тонн взлетали в воздух, словно щепки, и переносились на многие километры от центра извержения. Глыба андезитового состава размером  $15 \times 7 \times 10$  м, весом 2835 т была перенесена на расстояние около 2 км. В этой глыбе хорошо видны трещины, образовавшиеся при ее падении.

Вследствие этого извержения образовался покров, состоящий из обломочного вулканического материала, площадью  $70 \text{ км}^2$ . Площадь, покрытая пеплом, оценивает-

\* «Огни Эльма» — электрические разряды на острых концах возвышающихся предметов.

ся в  $150\,000 \text{ км}^2$ . Протяженность обломочного (пирокластического) вулканического потока достигла 15 км. Этими потоками на значительной площади уничтожена вся растительность, в том числе большой (около  $45 \text{ км}^2$ ) массив леса. Сохранился лишь маленький искалеченный участок. Его спасла возвышенность, преградившая путь потоку. В других местах остались единичные обломанные и изувеченные деревья.

И еще одна иллюстрация: по широкому простору, словно по трассе, следуют вулканологи. На их пути сейчас нет никаких препятствий. А ведь совсем недавно здесь был лес. Но когда началось извержение, на склоны вулкана, покрытые снегом, выпадали раскаленные частицы вулканического материала. Снег интенсивно таял, и водные потоки устремились вниз, увлекая с собой обломки лав, песок, пепел, создавая мощные грязевые потоки. Одним из таких потоков и уничтожена широкая полоса леса. Деревья, находящиеся на большом расстоянии от места извержения, были умерщвлены пеплом.

Но и этого показалось мало разгулявшемуся вулкану. Лес искалечен «на славу», но быть может в покое будут оставлены реки? Не тут-то было! Река с мощным водным потоком тоже была уничтожена и засыпана горячими вулканическими обломками, русло ее стало сухим.

Много бед натворил Шивелуч при этом извержении, и, конечно, приведенные сведения далеко не исчерпывают всех событий.

Шивелуч — самый северный из активно действующих вулканов Камчатки. Он стоит обособленно на широком межгорном просторе — величественный и грозный, время от времени показывая свою буйную натуру. Извержения Шивелуча известны с XVIII в. Иногда они продолжались непрерывно несколько лет. Катастрофическое же извержение 1964 г. длилось всего около часа. Но по своей силе и объему выброшенного материала оно превзошло все предыдущие извержения.

Как показывают расчеты (Ю. М. Дубик и др.), энергия воздушной волны направленного взрыва равна  $1,8 \times 10^{21}$  эрг. Кинетическая энергия взрыва (объем выброшенного материала  $1,5 \text{ км}^3$ , плотность около 2, средняя дальность выброса 10 км) равна  $1,5 \times 10^{24}$  эрг. Начальная скорость определяется в 319 м/с, а давление — в 1000 атм.

\* \*  
\*

В 80 км к югу от вулкана Шивелуч, но уже по правой стороне р. Камчатки, где последняя делает крутой поворот, меняя направление своего течения с почти северного на восточное, расположена необычайно интересная Ключевская группа вулканов. Эта группа размещена в низменности между двумя хребтами — Срединным на западе и Восточно-Камчатским на востоке, окружена широкими речными долинами и поэтому представляет собой подобие острова. Такое положение вулканов этой группы обусловлено разломами местного (локального) значения, вследствие чего они находятся в депрессии, опущенном блоке (или грабене) земной коры. Как об этом писал Б. И. Пийп, указанная депрессия, представляя собой зону опускания, является в то же время зоной растяжения.

В Ключевской группе 12 вулканов. Они занимают громадную площадь — около  $7000 \text{ км}^2$  — с объемом вулканического материала  $5000 \text{ км}^3$ . Эти вулканы появились не вдруг, а на протяжении длительного времени, которое исчисляется многими миллионами лет. Но в общей сложности, как теперь уже доказано, вулканы сформированы в три цикла. В наиболее ранний из них, в среднечетвертичное время, появилось несколько вулканов, в том числе Горный Зуб, очень эффективное вулканическое сооружение, точно соответствующее своему названию.

Второй, более поздний цикл, был богаче событиями. Начало его относится уже к верхнечетвертичному времени. В это время появились вулканы Ближняя Плоская,

Острый Толбачик, Большая Удина, Малая Удина, Большая Зимина, Малая Зимина. В то же время был сформирован и вулкан Камень, создающий вместе с действующими вулканами эффектную панораму.

Наконец, третий, последний, период ознаменовался наиболее важными для нас событиями. В это время появились и ныне активно действуют вулканы: Ключевская сопка, Безымянный, Плоский Толбачик. Каждому из этих трех вулканов присущи свои особенности: тип извержения, состав извергаемых продуктов, форма вулканических построек и т. д. Но прежде всего ознакомимся с наиболее интересным из этой группы — лидером камчатских вулканов, каким является...

### **Ключевская сопка — огненная вершина с ледяной диадемой**

Действительно, огонь, снег и лед живут здесь рядом, бок о бок на протяжении многих веков, и это вполне закономерно.

Ключевская сопка — крупнейший действующий вулкан не только Камчатки, но также Европы и Азии: высота его 4850 м. Вулкан имеет почти идеальный, необычайно красивый конус. Издали конус кажется ровным, с филигранной отделкой склонов, крутизна которых  $32-33^\circ$ . Но вблизи можно видеть, что склоны его испещрены многочисленными промоинами (барранкосами) значительной протяженности (до 3—4 км). По некоторым промоинам во время извержения скатываются вулканические продукты. Эти продукты и сносимые тающими ледниками рыхлые отложения делают склоны Ключевской сопки безжизненными, царством мертвого камня.

Конус вулкана образован рыхлыми продуктами, которые получают при взрывных извержениях, и лавовыми потоками. Такие постройки, как известно, называются стратовулканами.

На вершине вулканического конуса хорошо заметен кратер, в котором постоянно искрятся камни раскаленной лавины и высоко поднимаются облака паров и газов. Вершина конуса озарена огнем и действительно напоминает каменный факел. Иногда же светящиеся над кратером тучи поднимаются на высоту нескольких километров, образуя густую облачность. Но бывает, что устреляющиеся из кратера газы, пары и пепел растянуты по горизонту в виде длинного, многокилометрового шлейфа.

Выдающийся советский вулканолог Б. И. Пийп, на протяжении многих лет изучавший этот вулкан и видевший многие вулканы Европы и Азии, писал о нем следующее: «12 вулканов этой группы выступают среди хребтов и лесистых долин Северной Камчатки исполинскими массивами камня и льда, образуя незабываемую панораму, полную величия и суровой красоты. Изумительно правильный гигантский конус Ключевской сопки с вечно дымящейся или озаренной огнем извержения вершиной, расположенный в северо-восточном углу скопления вулканов, придает особое очарование этой панораме. По мнению Гюльемара — одного из кругосветных путешественников конца прошлого столетия, который до своей поездки по Камчатке «видел Анды и Альпы и наблюдал на восходе солнца Котопакси, Этну, Фудзияму и много других гор разного значения», — группа Ключевских вулканов настолько величественна и совершенна по красоте, что она не идет ни в какое сравнение ни с этими, ни с другими прославленными горами земного шара».

Вулкан Ключевской относительно молодой. По данным проф. В. И. Влодавца, ему всего около 5 тыс. лет. Он действует постоянно, хотя и с разной интенсивностью. С 1697 г., т. е. с того времени, когда впервые было отмечено его извержение, вулкан 54 раза зажигал свой яркий факел; в среднем извержение его происходит один раз в 5 лет. Иногда вспышки наблюдались ежегодно, на протяжении 3—4 лет, порой же извержение продолжа-

лось несколько лет подряд, но потом следовали паузы, в некоторых случаях до 10—12 лет.

Несмотря на столь частые извержения, он никому не причинял особого беспокойства. Его извержения — это своего рода не очень сильная разрядка. К тому, что вулкан все время дымит, уже давно привыкли. И если бы вдруг жители окрестных поселков увидели, что вулкан «не курит», это их обеспокоило бы не на шутку.

Однако же случается всякое. Так было и с этим вулканом. Оказалось, что он тоже может разгуляться, да еще как! Очень сильное пароксизмальное \* извержение, которое бывает в среднем один раз в 25 лет, произошло в 1944—1945 гг. Оно было хорошо изучено и детально описано Б. И. Пийпом в его книге, посвященной этому извержению.

Извержение, как это часто бывает, началось взрывом. При наиболее сильном взрыве был выброшен раскаленный материал на высоту 1500 м, колонна газов и пепла достигла 8 км, газовые тучи поднялись на 15 км. Объем выброшенных вулканических продуктов довольно значительный и оценивается в 0,7—0,8 км<sup>3</sup>. Слой пепла покрыл не только склоны вулкана, но и места, отстоящие на значительном удалении от него. Так, сплошь был покрыт вулканическим пеплом пос. Ключи, находящийся в 32 км от вулкана.

Извержение 1944—1945 гг. происходило из главного кратера. Такое извержение называется терминальным и в данном случае по своему характеру близко везувианскому или вулканскому типам, о которых упоминалось выше.

Но для этого вулкана весьма характерны и другие извержения, которые происходят из побочных, или пара-

\* Пароксизм — раздражение. В данном случае — вспышка, взрыв: они (взрывы) при вулканических извержениях могут периодически повторяться в течение длительного времени.



зитных, кратеров. Подобно вулкану Этна, склоны Ключевской сопки усыпаны конусами, сформировавшимися в результате извержения из побочных кратеров. В настоящее время здесь насчитывается 84 кратера. Наиболее важные из них — группа Туйлы (извержение 1932 г.), группа Билиюкая (1938 г.) и особенно группа Юбилейного прорыва (1945 г.), названная так в честь 220-летнего юбилея Академии наук СССР. Наиболее активным был кратер Заварицкого. После интенсивной взрывной деятельности из него со скоростью 13 км/ч стала изливаться лава; на поверхность поступило ее около 30 млн. м<sup>3</sup>. Интересен кратер Анахончич, от которого прослеживается 12-километровый лавовый поток. Поверхность потока глыбовая, а более низкие горизонты имеют сравнительно монолитное строение. Такой тип лавового потока называется санторинским, по имени вулкана Санторин, где поток был отмечен впервые. Приметны также кратеры, названные в честь вулканолога Былинкиной (1951 г.), академиков Белянкина (1953 г.) и Крыжановского (1957 г.).

Извержения вулкана происходили и позднее. Одно из них, и довольно значительное, произошло из побочных кратеров 6—9 октября 1966 г.

Извержение началось ранним утром 6 октября пепловым взрывом. Пепловая туча была поднята на высоту до 2 км, напоминая черное облако.

Ю. М. Дубиц и И. Т. Кирсанов, наблюдавшие это извержение, отмечают, что за короткий период было зарегистрировано 393 взрыва с энергией более  $10^{13}$  эрг. Частота лавовых выбросов была необычной: они следовали один за другим через каждые 45 с; скорость выброса почти равнялась скорости звука. Выброшенный взрывом вулканический материал еще не успевал достичь наибольшей высоты, как тут же следовал очередной взрыв и в воздух взлетала новая порция рыхлых продуктов. Место извержения окутали пепловые тучи, непрерывно сверкали яркие молнии, слышались сильные громовые раскаты.

После прекращения взрывов началось излияние лавовых потоков. Скорость движения их была небольшой — около 600 м/ч при температуре 1050°. Температура постепенно падала, естественно и скорость движения потоков снижалась. Некоторые лавовые потоки через несколько дней имели протяженность до 5 км.

Как и в предыдущих извержениях, поток являл собой тип глыбовой лавы. Если сделать разрез потока в поперечном направлении, то можно видеть в подошве и кровле его шлаковый материал, т. е. рыхлые глыбы базальта; центральная же часть сложена плотным базальтом.

Движение лавового потока — очень эффектное зрелище. Вначале поток представляет собой беспорядочное нагромождение раскаленных камней, которые, словно сказочные существа, с шумом и гулом скатываются по склону. В дальнейшем он обычно попадает в ложбины или русло реки и медленно движется по ней. Если поток попадает в суженные участки реки, он ведет себя «нервно», стремится как бы раздвинуть ущелье и скорее вырваться на простор. Рыхлые глыбы кровли, словно стремясь опередить движение потока, скатываются сверху на дно долины, представляя в дальнейшем основание потока. Те же лавовые потоки, заполняя при своем движении всевозможные впадины, создают лавовые озера. В некоторых местах лавовых потоков появляются газопаровые облака. Если же лавовый поток движется по снегу либо льду, происходят иногда вторичные взрывы.

Во всех случаях, происходит ли извержение из центрального (терминальное) или побочных кратеров, состав вулканических продуктов Ключевской сопки один и тот же — базальтовый. Однако замечено, что базальты, извержение которых происходит на более высоких уровнях, чуть кислее, чем базальты низких отметок. В магматической колонне в промежутке между циклами извержений иногда успевает произойти небольшая дифференциация расплава — более легкие, а значит, и более кислые,

продукты поднимаются ближе к поверхности; ниже остается расплав с большей основностью.

Таков вулкан Ключевская сопка: красивый, имеющий классическую конусовидную форму, работающий, корректный в своих действиях и своеобразный — с собственным почерком извержений и составом вулканических продуктов.

\* \*

\*

К югу от Ключевской сопки находится вулкан Камень. Это потухший вулкан. Он расположен между Ключевской сопкой и вулканом Безымянным, и «оторвать» его от них невозможно. Эта дружная тройка всегда рядом и всегда на виду.

Если Ключевская сопка поражает своей идеальной конусовидной формой, то вулкан Камень, наоборот, своей асимметричностью: с восточной стороны его виден почти четырехкилометровый обрыв, который в виде гигантского замка взмывает к заоблачным высотам. По высоте вулкан лишь немногим уступает Ключевской сопке (4670 м). Как и Ключевской, это стратовулкан: в громадных обрывах видна перемежаемость рыхлых отложений и лавовых потоков.

Далее, тоже к югу, но уже от вулкана Камень, находится еще один вулкан. Но что это за вулкан? Так себе, сопочка, по сравнению со своим северным соседом и тем более с Ключевской сопкой: высота его всего около 3 тыс. м. У него и имени-то настоящего нет, просто Безымянный. Он был тих и молчалив, и никто не помнит, чтобы этот вулкан делал попытку к «мятежу» по крайней мере на протяжении нескольких сот лет. Так продолжалось до 1955—1956 гг. Но потом оказалось, что...

## Безымянный — имя громкое

Он стал известен всему миру, подобно вулканам Везувий, Стромболи, Катмай или Мон-Пеле. Почему? Что же с ним случилось, с этим «тихойней»? Произошло, и кажется, совсем неожиданно, катастрофическое извержение, одно из самых сильных, если не самое сильное в XX столетии в пределах Камчатки.

Подобно двум предыдущим — Ключевскому и Камень — это также стратовулкан, но с одной существенной разницей; продукты извержения его имеют не основной, а более кислый — андезитовый состав. Это имеет большое значение, и этим, как увидим ниже, объясняются многие особенности вулкана Безымянного.

Со времени открытия Камчатки русскими землепроходцами (1697 г.) никаких признаков деятельности вулкана Безымянного не отмечалось. И вдруг 22 октября 1955 г. около 6 ч утра произошло взрывное извержение и над вулканом на высоту нескольких километров поднялась газопепловая туча, окутавшая мраком все вокруг. Извержение продолжалось до начала декабря. Сила извержения была неодинаковой, и проходило оно неравномерно. Наиболее сильные импульсы отмечались поднятием газопепловой тучи на высоту 6—7 км. В начале 1956 г. продолжалось спокойное выделение газов, к которым временами примешивался пепел. В этот же период началось выжимание внутрикратерного купола диаметром около 1 км, которое сопровождалось взрывами и выбросом раскаленных лавин.

Оказалось, что все это лишь слабая репетиция перед главным событием. Наступило 30 марта 1956 г. Этот день был кульминационным в извержении вулкана. Произошел грандиозный взрыв, направленный к востоку под углом 40—45° к горизонту (рис. 5). Взрывом была уничтожена вершина вулкана, изменена его форма и рельеф окружающей местности. Вершина вулкана понизилась на 200—

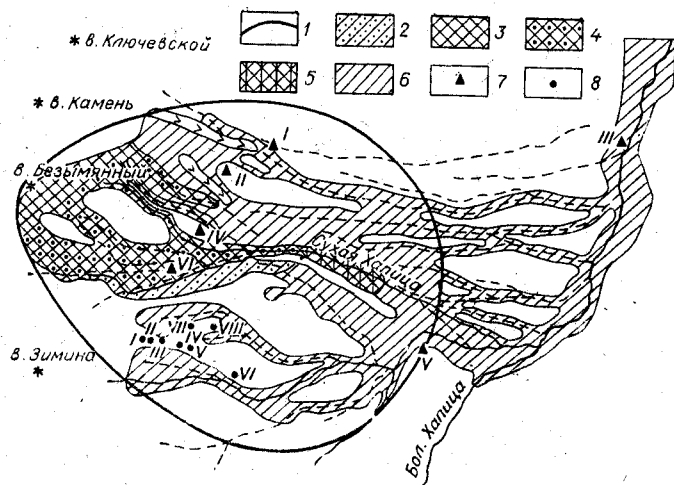


Рис. 5. Направленный взрыв вулкана Безимьянного 30 марта 1956 г. (по Г. С. Горшкову).

1 — границы области направленного взрыва; 2 — отложения взорванной постройки; 3 — пути пирокластических потоков; 4 — мощные отложения пирокластических потоков; 5 — мощные отложения грязевого потока; 6 — пути грязевых потоков; 7 — экспедиционные лагеря; 8 — точки замера мощностей песчаных отложений направленного взрыва.

300 м; образовался громадный кратер размером  $1,5 \times 2$  км.

Направленным взрывом на высоту 34—38 км было поднято огромное газопепловое облако. Оно расширилось до 50 км и пронеслось почти со скоростью звука. Силой взрыва на расстоянии до 25 км были сломаны, повалены и местами обожжены крупные деревья. Раскаленный материал отложился на площади около  $500 \text{ км}^2$ , уничтожив всю растительность, в том числе  $400 \text{ км}^2$  леса.

Через образовавшуюся в кратере брешь хлынули мощные потоки раскаленного вулканического материала, заполнившие долину р. Сухая Хапица протяженностью 18 км. Они вызвали быстрое таяние снега, что способство-

вало образованию бурных грязевых потоков, которые, дойдя до рч. Бол. Хапица, повернули вдоль долины к северу, снося все на своем пути, и, пройдя около 90 км, влились в р. Камчатка. Грязевой поток представлял собой необычную смесь обломков пород и растительности: при впадении в Камчатку он достиг почти 6-километровой ширины.

Начиная от постройки вулкана и на расстоянии 10—12 км от нее просматривается поверхность взрывных отложений. Это хаос неотсортированного вулканического материала (изувеченных глыб, бомб, лапиллей, песка и пепла), выброшенного взрывом.

Отличительной особенностью извержения вулкана Безимьянного является то, что после взрыва в кратере его стал расти купол. Как показывают наблюдения и точные замеры, скорость роста, особенно сразу после катастрофического взрыва, была довольно значительной — 3—4 м в сутки. Затем она постепенно уменьшалась и через 6—7 лет не превышала первого десятка сантиметров в сутки. Однако в начале 60-х годов еще был замечен его рост; время от времени с вершины купола по склону скатывались крупные и горячие глыбы. При падении их, а также обрушении стенок кратера даже вдали от него был слышен сильный грохот, напоминающий орудийные взрывы. К 1960 г. купол имел довольно внушительный вид, но продолжал расти.

Вспоминается такой случай. Однажды мы вместе с Евгением Константиновичем Мархининым и его спутниками расположились вблизи кратера вулкана Безимьянного. Нам хотелось скорее попасть к вулкану — ведь мы давно стремились к этому. Утром следующего дня направились к нему. Мы с Кларой Михайловной Тимербаевой задержались в кратере, а Евгения Константиновича заинтересовал купол, и он стал подниматься по его склону. Нам хорошо были видны обломки пород, которые скатывались с вершины купола вниз. Видел это и Евгений

Константинович и избегал «встречи» с ними. Но вот прямо на него катится большая глыба. Он находится за небольшим бугорком и не видит ее. Мы на миг оторопели, а затем стали кричать, предупреждая о грозящей опасности. Но грохот падающих обломков заглушал наши крики. Казалось, не миновать беды. Но в последний миг Евгений Константинович увидел грозящую ему опасность и отпрянул в сторону. Мы облегченно вздохнули и были очень рады, что все кончилось благополучно. Так мы еще раз убедились, что купол продолжает расти. К настоящему времени купол достиг высоты 500 м, но еще и теперь рост не прекращается, с его вершины постоянно откалываются глыбы и скатываются к подножию.

Рост купола происходит под давлением колоссальной силы, вследствие чего в нем образуется множество всевозможных трещин.

Извержение вулкана детально изучено вулканологами Г. С. Горшковым и Г. Е. Богоявленской и представляет собой большую научную ценность. Авторы в своей книге показали, что извержение направленного взрыва вулкана Безымянного настолько характерное и своеобразное, что его можно рассматривать как эталон, позволяющий по нему выделять тип извержений. До этого нам были хорошо известны вулканы направленных взрывов — Мон-Пеле (1902 г.) и Катмай (1912 г.).

Детальное изучение извержения Безымянного позволило по-другому взглянуть и на извержение вулкана Катмай и доказать, что в последнем случае оно было не трещинным, как утверждали некоторые ученые ранее, а происходило из кратера, как и в Безымянном. Механизм извержения был один и тот же, а вулканические продукты в них оказались разными. Это объясняется тем, что начальная температура у них была различной: продукты вулкана Катмай отличались более высокой температурой, чем и объясняется спекание рыхлых продуктов и пре-

вращение их в илгнмбриты\*. При извержении Безымянного этого не произошло, так как начальная температура в нем была более низкой, как и вулкана Мон-Пеле.

Таким образом, изучение извержений вулкана Безымянного (1955—1963 гг.) не только уточнило, но и расширило представления о направленных взрывах. Доказано, что такие извержения, кроме Мон-Пеле и Катмай, происходили и на других вулканах (Бандай-Сан в Японии, Лассен-Пик в Америке, Ламингтон в Новой Гвинее и др.).

И еще одна характерная черта Безымянного: у его подножия и на склоне расположены экструзивные купола, образование которых связано с начальным либо ранним этапом вулканической деятельности вулкана. Становление их также обусловлено относительно кислым (андезитовым), а значит, и вязким расплавом. Особенно эффективно выделяется купол (или ряд куполов) Плотина, обрывистые стенки которого очень похожи на плотно сложенные поленья.

Ну, а как же в прошлом вел себя этот вулкан? Окажется, водились за ним грехи и раньше. И немалые! Правда, это было очень давно, но суть дела от этого не меняется. Вулкан образовался в послеледниковое время, воспользовавшись твердой опорой — отрогами фундамента вулкана Камень. Взрывные или рыхлые (пирокластические) отложения переслаивались со спокойно изливавшимися лавовыми потоками; получилась типичная постройка конусовидных вулканов, или стратовулкан. Так он без тревог и забот прожил долго. Но потом последовал гигантский направленный взрыв, в результате которого была разрушена часть постройки вулкана и образовался большой кратер. Впоследствии в этом кратере вырос купол. А затем снова наступила пора, когда вулкан стал заботиться о дальнейшем своем росте — наращивании

\* Об илгнмбритах см. ниже.

стратовулкана: происходит чередование рыхлых отложений, которые образуются при взрывах, и излившихся лав.

Все это если и не по масштабу, то по сходству напоминает извержения 1955—1963 гг., о чем изложено выше.

Таким образом, изучение этого, казалось бы малозаметного, вулкана показало, что для него характерны редкие, но гигантские извержения, которые начинаются направленным взрывом. Второй особенностью представляется рост куполов на месте вновь образованного кратера.

Такая деятельность вулкана обусловлена составом расплава: расплав сравнительно кислый, а следовательно, вязкий и очень насыщен газам. Это как раз те условия, в результате которых возникает взрыв или эксплозивное извержение.

Мы познакомились с вулканами Шивелуч, Ключевская сопка и Безымянным. Но в Ключевской группе имеется еще одно активно действующий вулкан, не похожий на другие. О нем мы и расскажем ниже. Попытаемся выяснить, что собою представляет...

### **Кипящий камень Плоского Толбачика**

Вулкан Плоский Толбачик, высота которого свыше 3 тыс. м, расположен южнее Ключевского и Безымянного, но на той же линии, почти по прямой. И они действительно приурочены к одному и тому же разлому.

Вулкан в активной стадии находится редко, но зато продолжительное время. За 220 лет, начиная с 1740 г., на Плоском Толбачике зарегистрировано всего 10 извержений, из них сильных — только 4. Значительные перерывы между сильными извержениями — одна из особенностей этого вулкана.

Но наиболее характерная черта вулкана — жидкие лавы. Таких лав на других действующих вулканах Камчатки, да и в других местах нет; они во многом напоминают лишь лавы вулканов Гавайских островов. Лавы не-

обычайно жидкие, а значит, обладают небольшой вязкостью. От этого зависит и характер вулканических продуктов, которые также необычны.

В этом мы смогли убедиться непосредственно. Однажды, это было в августе 1961 г., вместе с А. Н. Сириным и К. М. Тимербаевой погожим летним днем еще на восходе солнца мы начали подниматься по склону вулкана к его кратеру. Склон вулкана относительно пологий, местами обрывистый с нагромождениями угловатых рыхлых глыб. Мешают подъему встречающиеся небольшие снежинки. Но вот и сам кратер. Он находится во впадине, заполненной льдом и снегом; диаметр его около 2 км. В западной части кратера располагается колодеобразный провал диаметром около 300 м и глубиной 40—50 м. В этом провале и совершаются всякие таинственные события.

Еще издали нам хорошо были видны периодические выбросы газа и пара, взмывающие над кратером. Непрерывное выделение газа с удушливым запахом серы заставляет быть осторожным, и мы придерживаемся подветренной стороны. Периодические, хотя и не очень сильные, выбросы точны во времени и следуют через каждые 3—4 мин. Как оказалось, эти выделения в основном состоят из паров воды с примесью сернистого газа ( $\text{SO}_2$ ) и, вероятно, соляной кислоты ( $\text{HCl}$ ). Пары воды образуются за счет испарения обильно стекающих в провал талых вод, ведь кругом лед и снег. Попадая на раскаленную лавину, они тут же превращаются в пар, который, смешиваясь с вулканическими газами, устремляется вверх. Дно провала заполнено раскаленной жидкой лавой. Кипящая лава находится в столь жидком состоянии, что даже слегка фонтанирует.

Подобное явление в августе 1966 г. наблюдал вулканолог И. Т. Кирсанов. Он отмечал, что через каждую минуту над жерлом можно было наблюдать сноп светящихся искр (раскаленные обломочные частицы), а несколько реже, примерно через 3—5 мин, — лавовые фонтаны,

высота которых была небольшой и едва превышала кромку кратера. Еще позднее, в начале 1970 г., им же отмечалось, что в жерле вулкана через неравные промежутки времени (от 1 до 7 мин) наблюдались всплески лавы гребнеобразной формы. При наиболее сильных всплесках выбрасывались крупные обломки пластичного материала, достигающие в некоторых случаях 0,5 т. Слабое клочкотание лавы в полости жерла происходило постоянно, и с кромки кратера непрерывно был слышен шум, напоминающий морской прибой. Раскаленные бомбы поднимались до 350 м над кратером, а газопепловая смесь — до 2 км.

Выполнить весь комплекс наблюдений в тот день мы не смогли и вынуждены были заночевать в кратере вулкана. Сосед наш — жерло вулкана — не очень-то гостеприимно отнесся к этому и всю ночь тяжело вздыхал, пуская кверху клубы газа и пара, поэтому сон наш был очень тревожным.

На другой день занялись сбором вулканических продуктов, которые выбрасывались из жерла вулкана. Здесь были разбросаны разной величины очень рыхлые куски базальтовой лавы, вулканические бомбы (иногда внушительных размеров), песок, пепел, кристаллы плагиоклазов, или плагиоклазовые лапилли, и очень характерные для этого вулкана «волосы Пеле» (Пеле — богиня огня у гавайских туземцев).

«Волосы Пеле» — это тонкие (от 2 до 0,5 мм) стеклянные нити, длина которых варьирует в широких пределах — от 6 см до 1,5 м. Больше всего их было в мелких впадинах. Они напоминают базальтовые волокна, полученные искусственным путем. Обычно эти волосы находятся в очень хаотическом состоянии — перепутанные, разные по толщине нити. Окраска их светло-бурая, стекляннопрозрачная с темно-бурым оттенком. В поперечном разрезе волосы разные — чаще всего округлой формы, реже квадратной и многоугольной.

Чем можно объяснить, что из столь грубых лавовых глыб получаются такие изящные нити? Как уже упоминалось, базальты Плоского Толбачика самые пластичные из всех. Будучи выброшенными в воздух, они силой газов, которыми сильно насыщены, как бы растягиваются в разные стороны, особенно по вертикали. На соответствующей высоте, где газы уже не могут подбрасывать в воздух с прежней силой и скоростью куски раскаленной лавы, а сила тяжести последних еще не преодолела инерции подъема, наступает такой момент, когда тяжелые участки отстают, а более легкие еще стремятся вверх; создаются условия для максимального растяжения. А проще сказать, все это происходит в результате разбрызгивания жидкого базальтового расплава.

В Ключевской группе только для вулкана Плоский Толбачик характерны продукты выброса, состоящие из силикатного минерала — плагиоклаза. Это так называемые плагиоклазовые лапилли. Как известно, лапилли — это частицы вулканических пород размером от 2 до 20 мм. Здесь же они необычны: это сростки очень тонких пластинок плагиоклаза, по составу аналогичного плагиоклазу лавовых потоков, сцементированные светло- и темно-бурым стеклом. В одних случаях это только два или несколько сросшихся кристаллов, в других — значительно больше. Наиболее эффектно шаровидные сростки, в которых насчитывается 10—15 пластинок. Округлая форма их размером 2—3 см в поперечнике напоминает грецкий орех с неровной поверхностью. Разумеется, подобные образования — не случайное слипание пластинчатых кристаллов, а результат закономерного роста\*.

\* Выделения подобных кристаллов свойственны и некоторым другим вулканам. Как отмечает Тиррель, в раздробленных взрывах лавах, в которых произошла значительная кристаллизация, накапливаются кристаллы — лапилли. Так, на вулкане Везувий — лейцит и авгит, на Этне — авгит и т. д.



Вероятно, такие сrostки образуются в жерле вулкана на небольшой глубине. Они выбрасываются из жерла вместе с раскаленной лавой. Но поскольку сrostки кристаллов почти всегда непрочно связаны с лавовыми хлопьями, они тут же вываливаются из них. В кратере Плоского Толбачика очень много таких шаровидных сrostков кристаллов плагиоклаза.

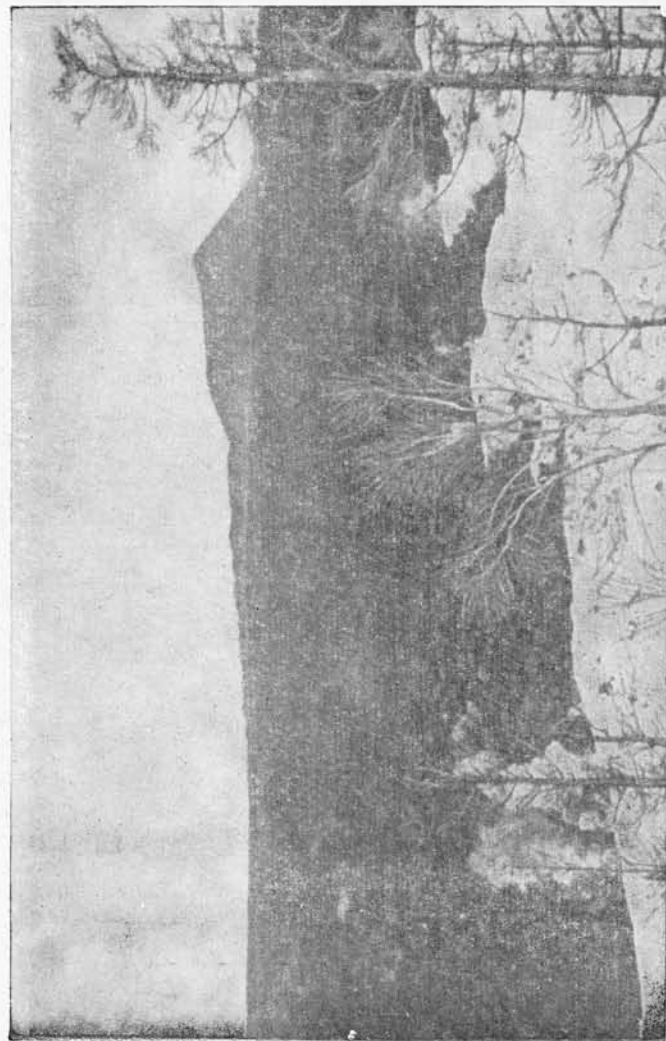
Крупные пластинчатые плагиоклазы такого же состава содержатся в некоторых породах. Они были названы Б. И. Пийном мегаплагиофировыми и гигантоплагиофировыми. Оба эти термина прочно утвердились в вулканологической литературе. По составу эти породы относятся к базальтам.

Своеобразно поведение газов над активной воронкой кратера Плоского Толбачика. Как показывают наблюдения И. Т. Кирсанова (извержения 1966 г.), иногда газы свободно парили со скоростью всего несколько метров в секунду, в других же случаях отмечался большой напор, и тогда скорость достигала 150 м/с. При напорном выходе газы поднимались концентрированной струей до 120 м; происходило быстрое расширение струи и активная конденсация пара. Молочно-белое облако газа и пара поднималось на высоту от 200 до 800 м, а порой и выше.

Как показало качественное определение состава газов, в них присутствуют натрий, калий, кальций, магний, алюминий, двух- и трехвалентное железо, бром, фтор, хлор а также метан, серная и угольная кислота\*.

Но, пожалуй, самым примечательным для Плоского Толбачика являются канатные и волнистые лавы, особенно первые из них. Западное подножие Плоского Толбачика устлано такими лавами. Расположенные на сравни-

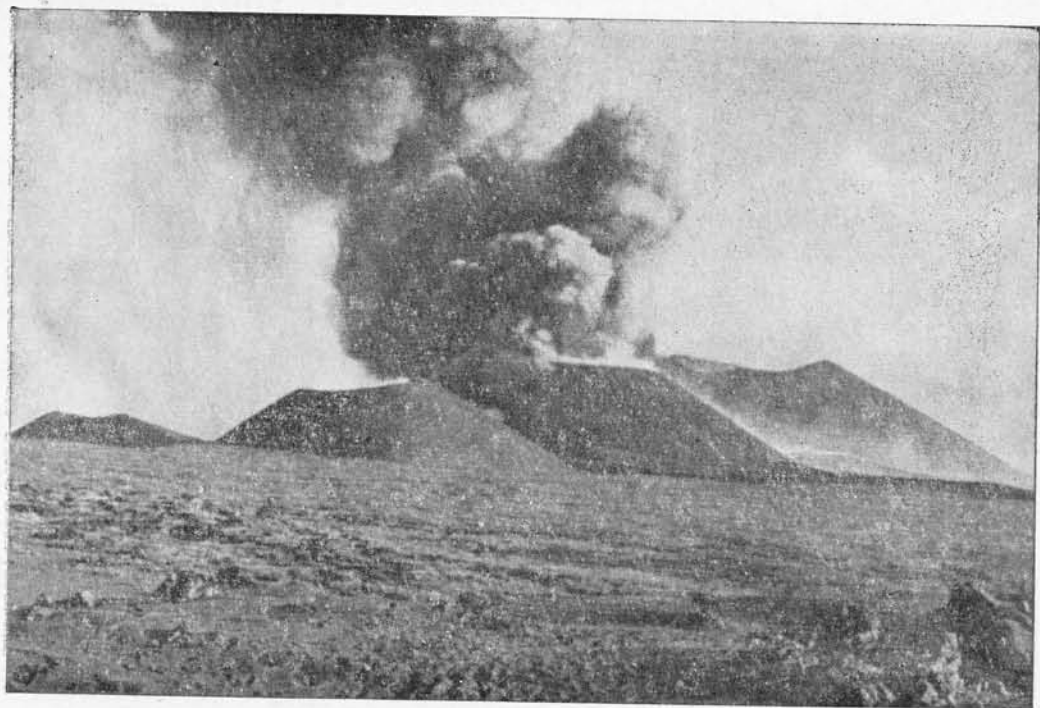
\* К этому следует теперь добавить, что такая деятельность кратера вулкана Плоский Толбачик продолжалась до 1975 г. В конце 1975 г., в результате нового трещинного Толбачинского извержения, произошел провал вершины вулкана, в том числе и кратера, что явилось причиной образования кальдеры.



Углубленный однообразный пейзаж. А совсем недавно это был очень живописный уголок природы. Лавовые потоки теперь наползают только на снежный покров. Фото Н. А. Смедова.



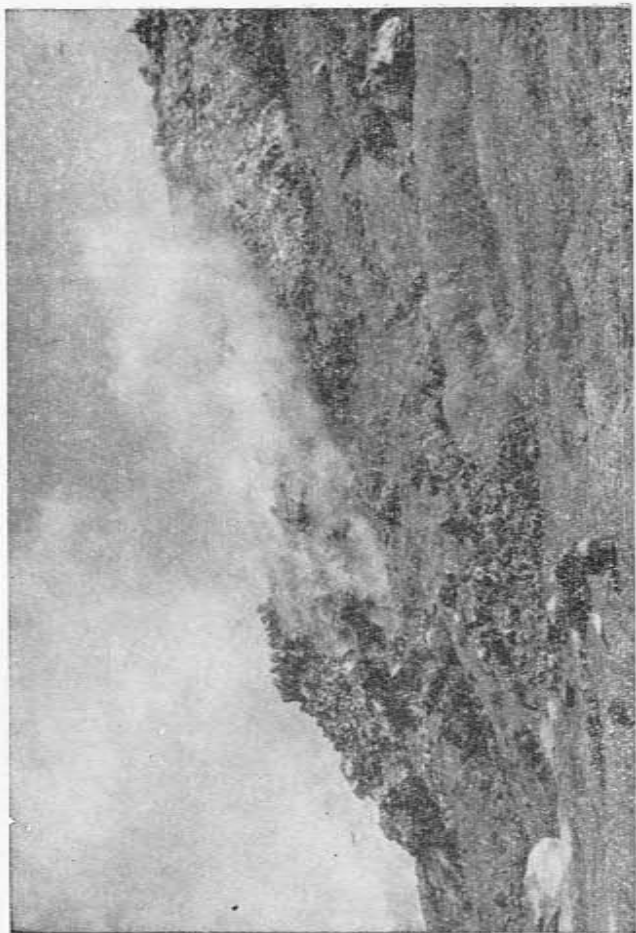
Южная сторона первого конуса. Поток прошел 300 м.



Шлаковые конуса (Северный пролив), образовавшиеся во время Толбачинского извержения в 1975 г. Фото В. А. Подтабачного.



Вторичные взрывы на движущемся лавовом потоке  
Ключевского вулкана.



Типичный для Ключевского вулкана лавовый поток.



Дружная тройка вулканов: Ключевская сопка, Камень и Безымянный.



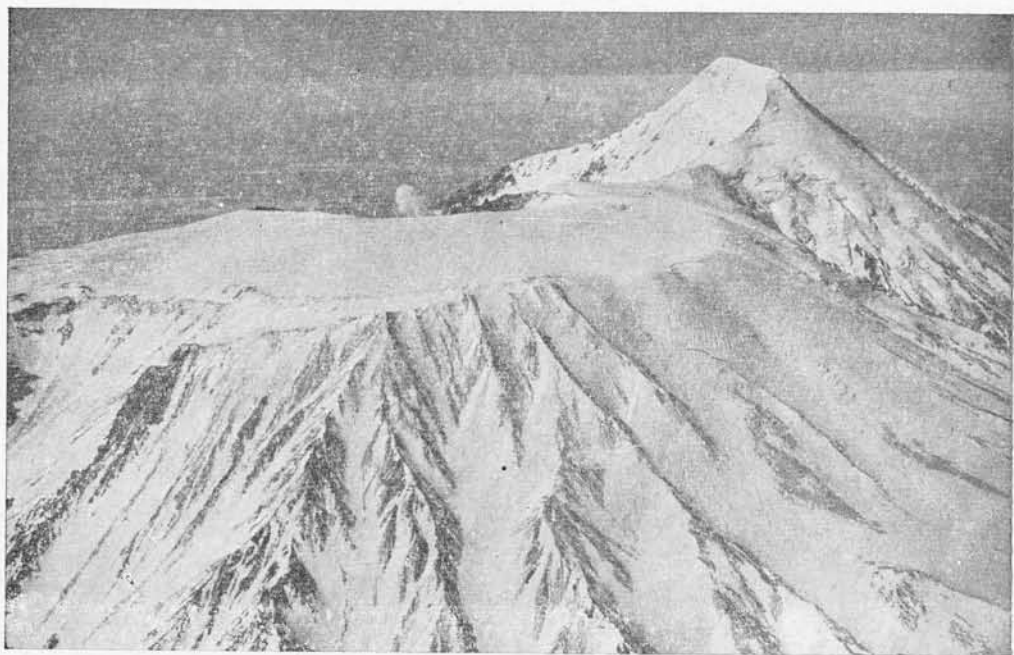
Поверхности взрывных отложений вулкана Безымянного.



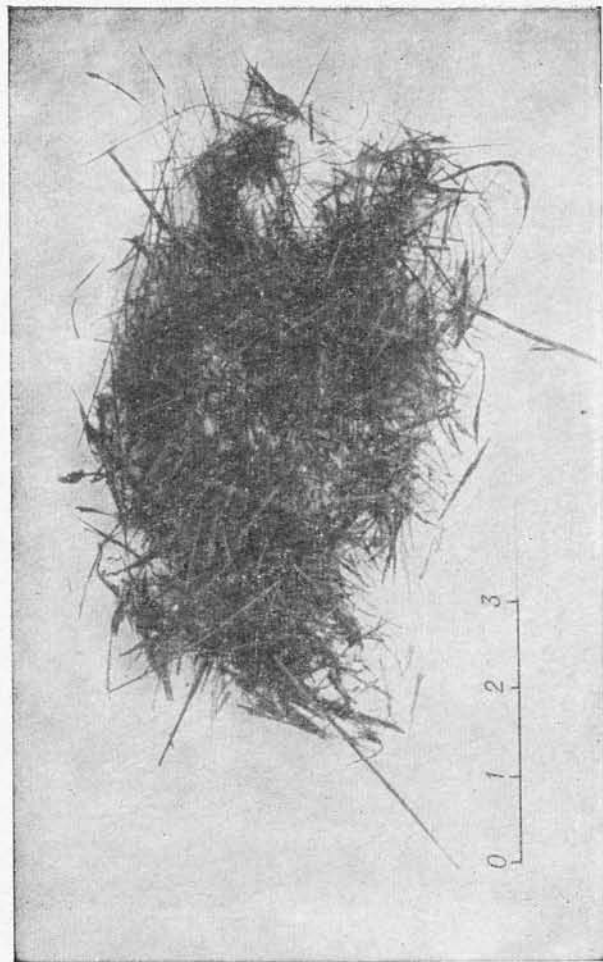




Рост купола Новый в кратере вулкана Безымянного после взрыва 30 марта 1956 г.



Вулкан Плоский Толбачик. Вершина его действительно плоская.



Так выглядят «белосы Пеле» — тонкие нити базальта.



Весьма характерные для Плато Толбачика сросшиеся пластинчатые кристаллы плагиоклазов, так называемые плагиоклазовые ланцеллы.

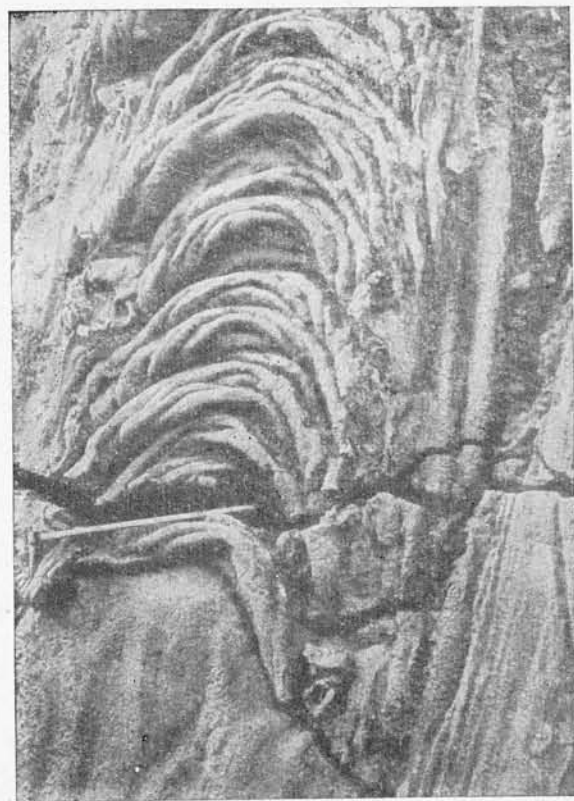


Волнистая поверхность лавового потока Плато Толбачика,

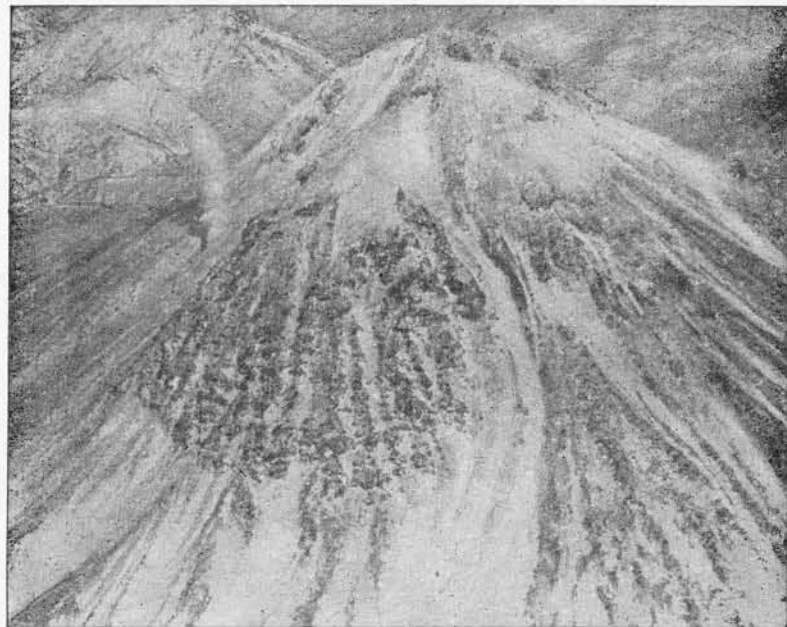




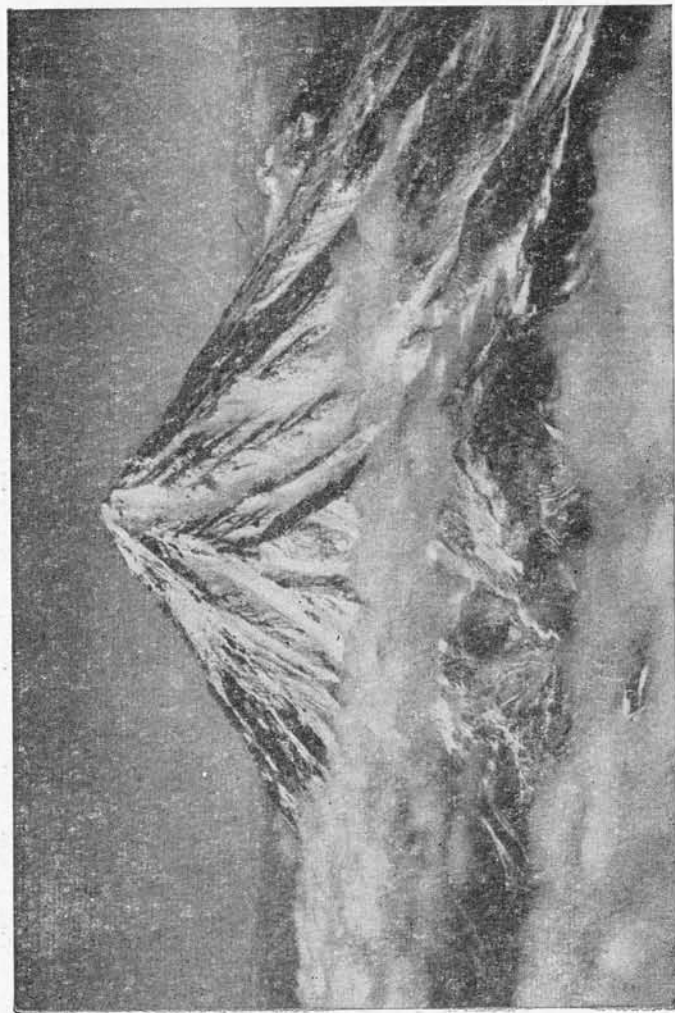
Для Плоского Толбачика свойственны лавы и с ярко выраженной канатной поверхностью. Такие лавы образуются при относительно равномерном течении потока.



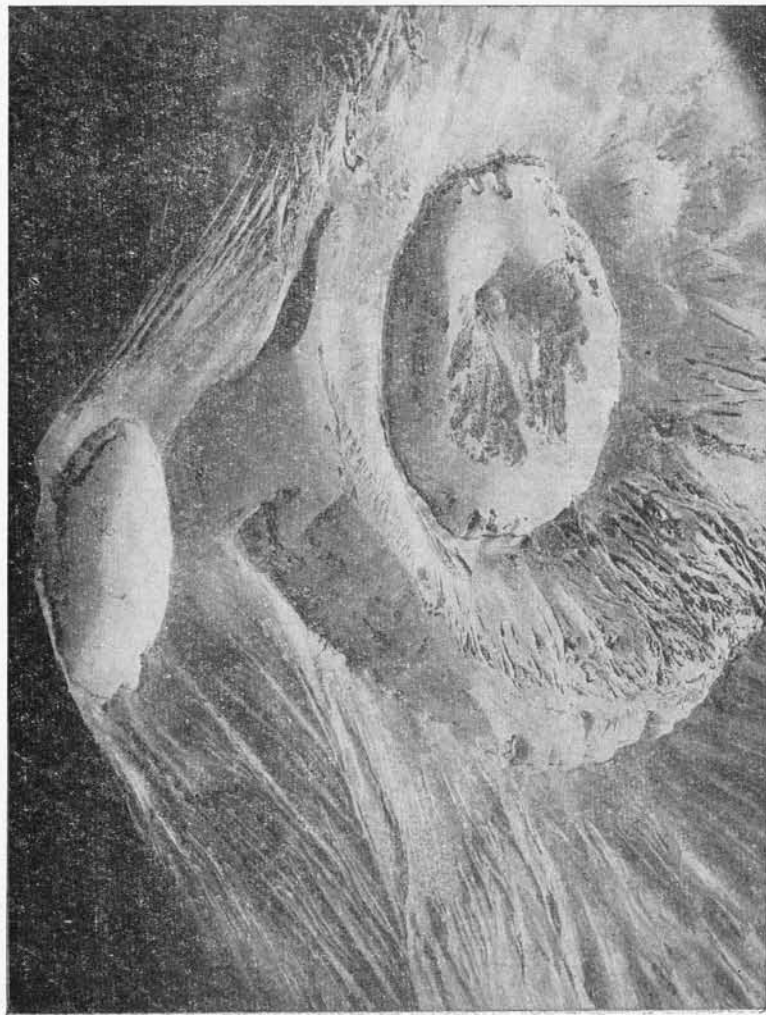
А в этом лавовом потоке канатная поверхность образовалась лишь в средней части его, где была наибольшая скорость течения.



Израженный промоинами конус вулкана Кизимен. Слева на склоне конуса робко струятся фумаролы.



Изнешество и красота: вулкан Кроноцкий.



Громадные глазницы — кратеры сросшихся конусов вулкана Крашенинникова.

тельно небольшом участке, они создают весьма эффектное зрелище. Это поистине природный музей лавовых потоков самого причудливого характера. Даже не верится, что все это сделано без «разумного» вмешательства. Но тем не менее это так.

Лавовые потоки с четко выраженной канатной поверхностью образуются при относительно медленном движении потока, когда на поверхности его появляется немного остывшая корка, а на глубине он находится еще в раскаленном состоянии и продолжает течь. Появляющиеся вследствие этого на поверхности бугорки или морщины как бы затормаживаются и подкручиваются, приобретая форму валика или каната. Если течение лавового потока равномерное, такие валики будут образовываться по всей поверхности потока.

При быстром и неравномерном течении лавового потока канатные формы образуются лишь в определенных местах, где поток имеет наибольшую скорость. Обычно это осевые части его, в которых возникают круговые завихрения. Поскольку такие завихрения повторяются, канаты сворачиваются в жгуты.

В некоторых местах на небольших участках великолепно выделяются концентрические канатные формы. Они появляются в результате выжимания на поверхность через образовавшиеся в застывшей корке потока трещины и отверстия также несколько остывшего и поэтому обладающего значительной вязкостью расплава.

По-видимому, можно согласиться с А. Н. Сириным, изучавшим формы канатной поверхности, что они образуются преимущественно при умеренной скорости потоков, при выходе их за пределы крутых склонов.

И еще одна особенность лавовых потоков Плоского Толбачика — на некоторых из них видна волнистая поверхность. Создается впечатление, что перед вами застывший речной поток с небольшими вкось и вкривь расположенными волнами. Но они и впрямь образованы в

очень жидком лавовом потоке, на поверхности которого еще отсутствовала остывшая корка. На некоторых участках волнистых лав наблюдается обилие газовых полостей, что придает им внешнюю схожесть со шлаками, образованными при взрывных извержениях вулканов.

Интересно также отметить, что в лавах Плоского Толбачика встречаются отпечатки древесных стволов. Это свидетельствует о том, что лавовый поток когда-то следовал по залесенной местности. Лес был уничтожен, но отпечатки деревьев, которые хорошо видны на изломах кусков базальтов, сохранились на многие века.

А совсем недавно (1975—1976 гг.) произошло рождение еще одних, на сей раз незаурядных, каменных факелов Камчатки, появились на свет...

## Новые Толбачинские вулканы

Это случилось в Толбачинской зоне разлома, в 18 километрах от кратера Плоского Толбачика. Указанная зона отличается необыкновенной активностью, о чем свидетельствуют большое количество всевозможных разрывных нарушений и обилие шлаковых конусов. Последних насчитывается только в Толбачинской зоне свыше 50, а по всему Ключевскому долу — около 300. Здесь изливалось много лавовых потоков. Как указывает И. В. Мелекесцев, в южной зоне шлаковых конусов было излито заголоцное время (последние 10 тыс. лет) более 100 км<sup>3</sup> базальтовых лав.

При описании вулканических построек и причин их возникновения затрагивался вопрос о трещинных вулканах.

Трещинные вулканы имеются во многих местах. Некоторые извержения происходили в далеком прошлом, другие совершаются и в настоящее время, как, например, в Исландии. Но мы остановимся на совсем недавнем тре-

щинном извержении, которое произошло на Камчатке (1975—1976 гг.). Это было своего рода извержение-спектакль и смотреть его съехало очень много людей из разных мест нашей страны; были даже зарубежные гости. В основном это были вулканологи и геологи, а также журналисты, фотокорреспонденты, кинорепортеры.

Интерес к этому извержению вполне понятен, ведь это было первое, к тому же крупнейшее трещинное извержение в историческое время в пределах Курило-Камчатского пояса.

О том, что извержение вот-вот начнется, хорошо знали в Институте вулканологии. Оно было предсказано зав. лабораторией прогноза и механизма извержений П. И. Токаревым, причем довольно точно. Это дало возможность хорошо подготовиться к тому, чтобы сразу же начать всестороннее изучение его динамики и характера извергаемых продуктов.

Извержение началось 6 июля 1975 г. в 9 ч 45 мин по местному времени. В протяженной трещине появились четыре жерла, из которых выбрасывались вулканические бомбы на высоту до 700 м, а вулканический пепел достигал высоты 4—5 км. В дальнейшем вся деятельность была сосредоточена в одном жерле. Здесь и начал расти конус из шлака, бомб и пепла. Вулканические продукты были раскалены до 1000°C. Газ и пары образовали огненную свечу до 2,5 км, а газопепловая туча поднималась на высоту 10—12 км. Если учесть, что все это происходило среди зеленого ковра растительности, то даже трудно себе представить, какое это величественное зрелище. Особенно поразительны ночные фейерверки взрывных извержений, когда с грохотом и гулом выбрасываются газопепловые огненные струи, которые непрерывно пронизываются молниями.

Позднее начали изливаться и лавовые потоки. Так вулкан «работал» до 8 августа, образовав конус высотой 330 м.

Извержение шло неторопливо, чтобы дать возможность вулканологам посмотреть, заснять на кино- и фотопленку, записать, отобрать пробы, измерить температуру, зафиксировать скорость роста конуса и быстроту течения лавового потока, и многое другое.

После прекращения деятельности первого конуса, немного севернее его, 9 августа вскрылась трещина протяженностью 400 м и шириной 1,5 м. Вначале здесь было много жерл, затем число их свелось до четырех, а потом все сосредоточилось лишь в одном, где впоследствии и вырос второй конус высотой 300 м. И, хотя деятельность второго конуса продолжалась, 16 августа, севернее от него, появилась еще система трещин длиной до 1,2 км и шириной 1,5 м. Из них вслед за парогазовыми и пепловыми выбросами началось фонтанирование магматического расплава. Через два дня здесь вырос третий конус, высота которого оказалась ниже предыдущих и не превышала 150 м.

Интересен эпизод, о котором поведали Ю. М. Дубик, А. П. Хренов и др. В ночь с 21 на 22 августа образовалась новая система трещин длиной около 1,5 км. Очевидцы наблюдали, как перед ними земля расползалась со скоростью нескольких сантиметров в час. Ширина трещин в рыхлых породах достигла 5 м, а в скальных — 1,5 м. Здесь, в этих трещинах, появились лавовые потоки, в которых плескался и даже фонтанировал на высоту до 70 м жидкий расплав.

Позднее, 18 сентября, значительно южнее первых конусов, но на протяжении той же трещинной зоны, извержение возобновилось (его называли Южным прорывом). Из трещины длиной 600 м изливались лавовые потоки (лавовые речки) со скоростью от 30 до 3500 м/ч. Фонтанирование раскаленного жидкого расплава наблюдалось и здесь. В отличие от Северного прорыва в последнем случае преобладали лавовые потоки; обломочного материала было мало, а пепла почти не было.

В результате вулканической деятельности на этом участке образовался четвертый шлаковый конус, высота которого не превышала и 100 м. Однако извержение продолжалось, и конус все время наращивался, так же как продолжали изливаться и лавовые потоки.

И хотя извержение было точно предсказано заранее, тем не менее грандиозность всех этих событий была поразительной. Следует учесть, что такое извержение на Камчатке в историческое время происходило впервые, так как рождение вулканов на суше — явление довольно редкое. Непрекращающиеся взрывы, выбросы раскаленного вулканического материала в виде огненных струй на сотни метров в высоту, а газопепловых туч на многие километры, грохот и гул, непрерывное сверканье молний — все эти удивительные явления никого не могут оставить равнодушным. Извержения вулканов представляют собой необыкновенно эффектное, глубоко впечатляющее и едва ли с чем-либо сравнимое зрелище. Большой любитель природы писатель В. Песков, побывав на этом извержении, написал следующее: «Из великих явлений природы, какие мне самому посчастливилось видеть, можно назвать Антарктиду — огромное пространство без единой темной точки на нем. Можно вспомнить стада животных в африканской саванне — от горизонта до горизонта. Гигантский каньон в Аризоне... Но по силе воздействия на чувства все это можно поставить лишь после того, что видишь сейчас». В самом деле, подобное можно увидеть, если очень повезет, только один раз в жизни.

И вот теперь, после Толбачинских извержений, смотришь на еще недавно живописную местность и становишься немного грустно. Лесная растительность уничтожена «стерильно», исчезли озера и весело журчащие ручейки с кристально чистой водой. Вместо этого во многих местах просматривается «лунный» рельеф, где в толще пепла утонули вулканические бомбы; это напоминает миниатюрные кратеры Луны.



Что же дало вулканологам это извержение?

Главное для вулканологов — конечно, не внешние эффекты, которые наблюдаются во время извержения, хотя они сами по себе очень интересны. Извержения вулканов, вынося с больших глубин огромное количество разнообразных вулканических продуктов, позволяют, изучив и проанализировав их, как бы заглянуть в недоступные недра Земли и ответить на многие вопросы. Вот почему на это извержение была сразу же направлена большая комплексная экспедиция, в которую входили геологи, геофизики, сейсмологи, геодезисты и люди иных профессий. Да иначе и нельзя: без всестороннего изучения трудно познать строение Земли, а значит, и характер вулканической деятельности на ней.

Ценность этого извержения заключается еще и в том, что оно само по себе хотя и представляется масштабным, поступление вулканического материала на поверхность происходило постепенно и в течение длительного времени. Объем вулканических продуктов, выданных «на гора» в течение года (июль 1975 — июль 1976 гг.), равен примерно 2 км<sup>3</sup>. Известны случаи, когда такие же объемы взрываются в считанные минуты.

Как же это все отразилось на вулкане Плоский Толбачик? Как известно, на вершине его была расположена большая кальдера диаметром 3,7 км. Внутри ее — малая кальдера с диаметром 1,5—1,7 км. В западной части последней находился колодеобразный кратер диаметром всего 300 м, где и сосредоточилась активная деятельность вулкана. Так было до июля 1975 г., т. е. до тех пор, пока не началось извержение Новых Толбачинских вулканов. В конце июля — начале августа 1975 г. над кратером вулкана отмечены попловые выбросы. Это, вероятно, было началом обрушения кратера.

Как показано Н. А. Гусевым, уже 25 и 26 августа 1975 г. зафиксировано значительное увеличение кратера. К 7 октября того же года размер кратера достигал 1,6 км

в поперечнике. 27 декабря 1975 г. кратер занимал почти всю малую кальдеру диаметром 1,7 км и глубиной до 400 м. Дно кратера полностью было занято озером.

Так произошло образование кальдеры в кальдере, получилось как бы унаследование границ. Это обрушение или провал несомненно связано с описанными выше извержениями в Северном и Южном прорывах. В результате извержений новых вулканов произошло опустошение магматического очага под кратером Плоского Толбачика. Кровля, лишившись опоры, провалилась, обрушилась, образовав новую кальдеру. Значительно раньше подобным же образом были созданы и две другие кальдеры вулкана Плоский Толбачик.

В итоге маленький кратер Плоского Толбачика превратился, по сравнению с ним, в большую кальдеру. И хотя теперь в ней не фонтанирует кипящий камень (до поры, до времени), но «младенцы» вулкана делают это еще эффективнее, поднимая огненные струи раскаленного расплава на сотни метров в высоту.

Ко всему этому хотелось бы добавить следующее. Продукты вулкана Плоский Толбачик и Новых Толбачинских вулканов (шлаковых конусов) во многом схожи, в том числе и по составу. Что же касается лавовых потоков, то в ряде случаев они совершенно одинаковые и как бы копируют друг друга.

Таким образом, действующие вулканы Ключевской группы очень эффектны и по своему внешнему виду, и по характеру извержений. Необыкновенное буйство Шивелуча, поразительная красота и «корректность» Ключевской сопки, катастрофическое пробуждение Безымянного, кипящий камень Плоского Толбачика, огненные струи Новых Толбачинских вулканов — все это незабываемо. Каждый из этих вулканов имеет свой характер, но все вместе они образуют дружный вулканический ансамбль, оставляющий неизгладимое впечатление.



Много красивого, интересного и поучительного в Ключевской группе вулканов. Однако настала пора расстаться с ней и продолжить наш путь далее к югу. Первый из действующих, который встретится на нашем пути, будет...

## Вулкан Кизимен

Он имеет правильную конусовидную форму, но выглядит каким-то осиротевшим. Стоит обособленно, слегка как бы прислонившись к западному склону хр. Кумроч. Вулкан не столь грандиозен, как вулканы Ключевского дола, однако не так уж мал — высота его около 2500 м, т. е. всего на 500 м ниже Безымянного. Но у него есть свои достоинства.

Характерная особенность этого вулкана заключается в его развитии. Обычно вулканические продукты, поступающие на поверхность, вначале имеют основной состав; затем количество кремнезема увеличивается, и более поздние порции расплава становятся кислее. Такой порядок развития называется гомодромным. У вулкана Кизимен все наоборот. Вначале был выжат экструзивный купол андезитового состава. Расплав такого состава имеет повышенную вязкость, к тому же насыщен газами, поэтому образование купола сопровождалось канонадой взрывов с выбросом мелкодробленого материала. В более позднее время тоже происходят взрывные извержения, но они уже сопровождаются лавовыми потоками, поскольку вязкость расплава несколько ослабла в связи с уменьшением в нем количества кремнезема. А спустя еще некоторое время начал изливаться андезито-базальтовый расплав.

Вулкан Кизимен хотя и действующий, но по сравнению с другими ведет себя довольно пассивно, не проявляет особой прыти. С тех пор, как в декабре 1927 г. и январе 1938 г. он разразился выбросами мелкодробленого вулканического материала (пепла), его больше не слышно. Вулкан длительное время находится в стадии покоя.

Лишь фумарольные струи напоминают о том, что вулкан пока не уходит на покой и еще всякое может случиться.

К юго-востоку от вулкана Кизимен, ближе к Кроноцкому заливу, находится вулканический массив сложного строения —

## Вулкан Гамчен

Он состоит из двух сросшихся старых конусов и одного молодого. Последний расположен на южном склоне и является единственно активным конусом. На вершине его имеется чашеобразный кратер диаметром около 450 м и глубиной до 200 м. Слабые фумаролы, по наблюдениям в 1946 г., находились в южной и западной частях кратера. На южном и северном склонах вулканического массива выступают экструзивные тела.

В этом же хребтообразном массиве прослеживается ряд давно потухших вулканических конусов. Самый южный в этой группе — вулкан Комарова. Он причисляется к действующим по той причине, что здесь изредка наблюдается выход фумарол.

А, вдали, к югу, расположен Кроноцкий заповедник. Это сказочный уголок Камчатки, и не зря он стал заповедным местом. Здесь богатый животный мир — дикие олени, снежные бараны (архары), медведи, знаменитый соболь и выдра. Обилие теплых вод привлекает сюда и многих пернатых. А некоторые из них — гуси, утки и даже лебеди — остаются здесь и в зимнюю пору. Здесь же находится и заповедная роща камчатской пихты, представляющей собой реликт древней растительности.

Одно из красивейших озер Камчатки — Кроноцкое, образовавшееся в результате лавовых подпруд, также представляет значительный интерес. Вытекающая из него река на пути к Тихому океану вгрызается в скалы, создавая причудливые каскады. Громадная энергия этой воды свободно разгуливает по скалистым просторам и,

словно играя, перемещает большие глыбы горных пород. Но эта энергия уже подстерегается человеком, и, быть может, близко то время, когда она будет обуздана и окажется в упряжке. Во всяком случае здесь таятся немалые энергетические ресурсы. Это уголок щедрот природы. Но еще одна достопримечательность имеется в Кроноцком заповеднике. Это...

## Кроноцкий вулкан

Устремившийся ввысь более чем на 3500 м Кроноцкий вулкан производит неизгладимое впечатление. С ним могут соперничать разве что Ключевской да Корякский.

Великолепный геометрически правильный конус вулкана словно короной увенчан ледниковой шапкой. Ледник и снежинки на его вершине отсвечивают жемчугом в солнечных лучах.

Конус вулкана изрезан глубокими промоинами (баранкосами), по которым опускаются книзу длинные ленты ледниковых языков. Среди них выступают темные скалистые обелиски, напоминающие мифические фигуры. Кратер конуса прочно закупорен экструзивным телом.

Склоны конуса крутые, близки к естественному углу откоса (33—35°). Он сложен перемежающимися лавовыми потоками андезитового состава и обломочным материалом. Расплав обладал значительной вязкостью, поэтому путь потоков был коротким. Лучшее всего они сохранились на склонах вулканического конуса. Характерны для вулкана часто встречающиеся радиальные дайки тоже андезитового состава, протяженность которых достигает иногда нескольких километров. Подобные дайки в обилии встречаются на Курильских островах (особенно в кальдере Заварицкого).

Вулкан образовался в послеледниковый период. На памяти человека не известны его извержения. Только в 1942 г. над вершиной было замечено темное облако. Но

вулкан действует, посылая ввысь фумарольные струи. А что дальше — покажет время.

Таков он, красавец Кроноцкий, зорко смотрящий в пучины Тихого океана, радуя глаз человека.

Находясь на вулкане Кроноцком, можно видеть окружающую местность на большом расстоянии. Видны и те вулканы, на которых нам еще не довелось побывать. Один из них находится юго-западнее от вулкана Кроноцкого. Преодолеем речку Кроноцкую и направимся к нему. Перед нами встает громада —

## Вулкан Крашенинникова

Назван так в честь первого исследователя Камчатки С. П. Крашенинникова. Высота вулкана всего 1850 м, чуть ли не в 2 раза меньше Кроноцкого. Но он очень своеобразен и в своем роде единственный на Камчатке. Если смотреть на него с высоты птичьего полета, то прежде всего отчетливо видны две впадины — глазницы, ярко отсвечивающие белизной: во впадинах лежит снег.

Вулкан Крашенинникова возник на пьедестале древнего щитообразного вулкана, диаметр основания которого равен 30 км. Вершина его была разрушена и в результате возникла впадина, или кальдера, размером 9×12 км, которая окружена гребневидными выступами. В кальдере начали расти два самостоятельных конуса, два стратовулкана, достигшие высоты около 800 м над дном кальдеры. По мере роста они все больше сближались, и в конечном счете получилось два слившихся конуса. Но у каждого конуса, точнее, их вершин, своя особая жизнь. На вершине одного из них, южного, имеется большой кратер около 800 м в поперечнике и до 80 м глубиной, на дне которого виднеется жерло. Северный конус построен по-другому. Кратер на его вершине имеет диаметр около 1,5 км. В этом кратере возник небольшой вулкан (высотой всего 100 м), но с широким основанием. В свою

очередь, этот небольшой вулкан тоже имеет кратер и не такой уж маленький — 600 м в диаметре. Таким образом, в кратере одного вулкана возник конус другого или кратер-сомма. Но этим дело не кончилось. В кратере молодого вулкана возник еще конус высотой около 60 м и тоже с кратером, но всего 15 м в диаметре. Отсюда-то и произошло извержение лавового потока. Из всего этого видно, насколько сложна жизнь северного конуса вулкана Крашенинникова: сам он возник в кальдере, затем в его кратере образовался вулкан, а потом уже в кратере этого вулкана вырос маленький конус. Получилось подобие четырехэтажного конусовидного строения.

Вулкан Крашенинникова считается действующим вулканом, хотя в настоящее время признаки какой-либо деятельности отсутствуют. Но наличие очень свежих потоков лав, в том числе из маленького вершинного кратера, и отсутствие растительности свидетельствуют о совсем недавнем извержении, которое произошло, быть может, несколько сот лет тому назад. Оно могло остаться и незамеченным, ибо местность эта не заселена.

Один из мощных и протяженных лавовых потоков, который излился из побочного кратера вулкана и тоже свежий, достиг подножия вулкана Кихпинич. Это южный сосед вулкана Крашенинникова.

Но вот и он...

## Вулкан Кихпинич

Обойти стороной этот вулкан невозможно, потому что, во-первых, он действующий, а, во-вторых, отсюда начинается одно из чудес природы — Долина Гейзеров. Подножие одной из вершин вулкана прорезается глубоким каньоном р. Гейзерной.

Кихпинич — сложный вулканический массив, вытянутый в северо-восточном направлении. Высота вулкана 1552 м (несколько ниже Крашенинникова). Хотя на вул-

кан и наложена печать времени — он постарел и оборван, везде заметны следы разрушения, — тем не менее жизнь в нем еще теплится.

Позднее в южной части массива образовался экструзивный купол, именуемый Белой горой. Породы этой горы очень насыщены кремнеземом и относятся к наиболее кислым разновидностям — липарито-дацитам. В тех местах, где породы пронизываются струями фумарол и горячими водами, они алунитизированы и каолинитизированы. Такое воздействие приводит к образованию пород, обогащенных алюминием, серой и другими компонентами.

Еще позднее на северном склоне вулкана вырос небольшой, но очень эффектный конус Савича, который возвышается над старой постройкой более чем на 100 м. Он виден издалека. На вершине конуса находится небольшой кратер, из которого излился лавовый поток андезито-базальтового состава. Здесь же, в кратере этого конуса, в основном и протекает современная вулканическая деятельность в виде фумарольных струй.

Что же касается времени извержения вулкана, то точные даты не известны. Но судя по вулканическим продуктам, оно было в недавнем прошлом.

## Обезглавленный вулкан

Да, таков один из действующих вулканов Восточной Камчатки — Узон: сколько ни смотри, а никакого вулканического конуса здесь не найти. И тем не менее это вулкан, к тому же своеобразный и интересный во многих отношениях.

Когда-то Узон был рослым, с красивым конусом, устремленным ввысь более чем на 3000 м. Но угораздило его похвастаться своей силой. Один раз рванул — и половины конуса не стало. Поднатужился еще раз — и второй половины как не бывало. Так, в результате двукратного эксплозивного извержения, отличавшегося колоссальной

силой, был уничтожен вулканический конус. Затем, уже значительно позднее, вулкан попытается еще раз «тряхнуть стариной», и в результате взрывного извержения образовался базальтовый маар\* около километра в поперечнике. С тех пор Узон не делает попытки к дальнейшим взрывным извержениям (да и нечего больше рвать) и ограничивается будничной работой — спокойной и тихой фумарольной деятельностью. В отличие от других вулканов здесь после взрывных извержений не наблюдался рост купола, хотя позднее и появились экструзивные тела. В результате всех этих деяний образовалась огромная кальдера, достигающая в поперечнике 10—12 км.

Да, но почему кальдера, ведь в других местах после взрыва образуется кратер? Здесь же узаконено название «кальдера Узон». Мы подошли к интересному вопросу — происхождению впадин или депрессий, к которым относятся и кальдеры (рис. 6).

Образование кальдер до сих пор вызывает споры. Одни ученые считают, что если размер впадины не очень большой, значит, это кратер; в противном же случае — кальдера. За основу здесь берется размер, величина. Другие с этим не согласны и предлагают принимать за основу не размеры впадин, а их происхождение, т. е. генетический признак. И спор не беспредметный. Если стать на точку зрения ученых, которые придерживаются генетического признака, то станет ясным, что различие между кратером и кальдерой довольно существенное. Кратер образуется при взрывном извержении, в результате выброса или сноса большого объема материала, кальдера — вследствие проседания по кольцевому разлому. Кстати, кальдера, или кальдерообразное проседание, свойственна не только вулканическим областям. Так, на крайнем северо-востоке

\* Взрывная воронка вулканического происхождения, образование которой не сопровождается выбросом магматического расплава.

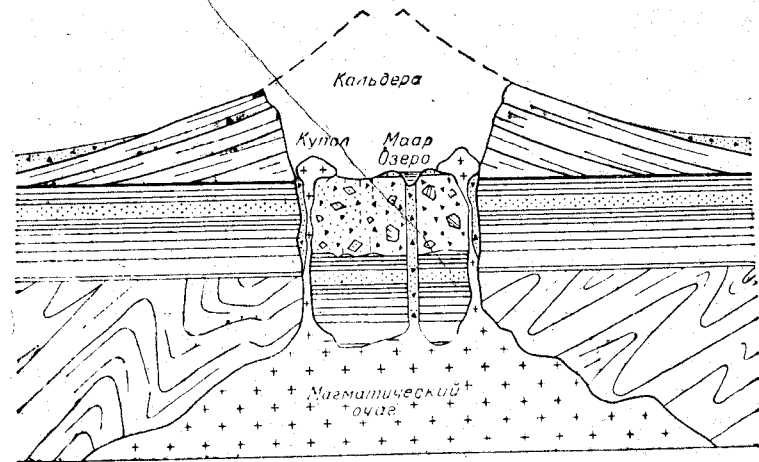


Рис. 6. Вулкан-кальдера (схема). Справа и слева экструзивные купола. В правой половине — маар, заполненный водой. На склонах вулкана взрывные отложения — пемза, игнимбриты, туфы, лавы.

(бассейн р. Индигирки) размещен Тарынский субвулканический массив площадью около 1800 км<sup>2</sup>, который возник следующим образом. Расплав заполнил полость, образовавшуюся в результате кальдерообразного опускания огромного блока осадочной толщи. Магматический расплав и осадочная толща как бы поменялись местами. Но до того, как опустился этот блок, здесь потрудились другие — тектонические силы, создавшие кольцевые и радиальные разломы и трещины. В данном случае отчетливо выражена кольцевая структура, средний диаметр которой около 130 км. Это одна из наиболее крупных кольцевых структур на территории нашей страны.

В пределах подобных структур и связанных с ними магматических тел, залегающих вблизи поверхности, нередко низкотемпературные проявления золота, серебра,

цинка, свинца и других металлов. Вот почему подобные структуры привлекают к себе пристальное внимание.

Нечто подобное, вероятно, случилось и с вулканом Узон. Наличие концентрических, дуговых и линейных радиальных разломов, связанных с образованием этой впадины, указывает на обрушение, проседание. Оно произошло по разлому, являющемуся границей депрессии. Примерно так могло произойти образование кальдеры. Ну, а взрывные извержения? Они оказали помощь в создании кальдеры. В данном случае кальдера образована в результате обрушения и взрывных извержений.\*

Да, вулкан Узон после взрывов и обвалов потерял свой элегантный вид. Но приобрел он значительно больше. С научной точки зрения здесь сосредоточены неопценные богатства. В самом деле, в кальдере Узон очень эффективно проявлена современная гидротермальная деятельность. Обнаружены горячие источники, имеющие лечебные свойства. В термальных водах содержатся ценные элементы — бор, рубидий и др. Выявлены рудные металлы — ртуть, сурьма, мышьяк, золото, серебро, цинк, свинец, медь. Встречается здесь и сера, в том числе серные потоки. Да и сами горные породы, как свежие, так и измененные, представляют определенный интерес.

Но вулканологам кальдера Узон преподнесла еще одну неожиданность: в отличие от других вулканов здесь отмечается параллельное развитие основного и кислого вулканизма. Изучение поступивших на поверхность вулканических продуктов показывает, что и те, и другие следуют из верхней мантии.

\* Аналогичное образование вулканокальдер известно и в других местах. Так была создана кальдера при извержении вулкана Безымянного. Вначале был взорван купол, а затем произошло обрушение внешних стенок. Как и в предыдущем случае, кальдера образована, с одной стороны, взрывным извержением вулкана, с другой — обрушением стенок кратера.

## Семячинокие вулканы

Семячские вулканы представляют собой важный узел в непрерывной цепи Восточно-Камчатского вулканического пояса.

Это большая и своеобразная группа вулканов, которая объединена под названием Большого и Малого Семячика. Расположены они между реками Карымской на юге и Ольховой на севере. Вулканы получили известность благодаря работам вулканолога нашей страны проф. В. И. Влодавца.

**Большой Семячик.** В эту группу входят, кроме собственно Большого Семячика, вулканы Иванова, Проблематичный, Попкова, Плоско-Кругленький, Западный и Восточный Бараний, Казакова, Бурлящий, Центральный Семячик.

Когда-то собственно Большой Семячик представлял собой внушительное горное сооружение с высотой вулканического конуса около 3 км. Но время идет, и устоять перед ним не может ничто. Разрушающая работа воды, льда и других внешних факторов сделала свое дело — вулкан потерял прежний внушительный вид и, можно сказать, расчленен на части. Теперь он уже не выступает в прежнем монолитном виде и только скалистые пики, которые занимают господствующие высоты, поднимаются более чем на 1700 м. Как замечает В. И. Влодавец, эти скалы придают вулкану суровый, дикий, но в то же время величественный и прекрасный вид. Характерная зубчатая вершина вулкана дала ему местное название — Зубчатый.

Большой Семячик — типичный стратовулкан, в чем можно убедиться, просмотрев великолепные скальные обнажения. В них хорошо видна перемежаемость базальтовых лав с обломочным материалом, причем, как показывают подсчеты, рыхлого материала было в 2 раза больше, чем излившихся лав.

В группе Большого Семячика два действующих вулкана — Центральный Семячик и Бурлящий. Коротко об этих вулканах.

Центральный Семячик — очень сложное вулканическое сооружение, состоящее из 18 преимущественно куполовидных построек. Собственно Центральный Семячик представляет собой двукратерный вулкан, высота которого не превышает 1200 м. Давно ли прекратились извержения этого вулкана — неизвестно. Судя по наличию свежих лавовых потоков, это происходило в недавнем прошлом. Но в настоящее время здесь отмечается только сольфатарная деятельность, сосредоточенная в северном и южном кратерах вулкана.

В северном кратере выходы сольфатар приурочены к котловине, Серным котлам и небольшому озеру, получившему название Черного. Вода в нем действительно покрыта черной пленкой, состоящей, вероятно, из сернистого железа. Предполагается, что вещество черной пленки выносилось из глубины во время выброса водянистой грязи. Над озером периодически поднимается густой пар, который порой выбрасывается в виде фонтана. Температура воды у зеркала Черного озера очень высокая и, учитывая высоту его расположения (900 м), близка к точке кипения (+88°). Количество фумарольных струй необычайно велико. Только в приозерной котловине их насчитывается 1641, а на двух участках у Черного озера — 418. В Серных котлах во многих местах можно видеть отложения кристаллов серы. Температура газовых сольфатар не превышает 100°C, газодянных — 70—98°C.

Вулкан Бурлящий. Это небольшой вулкан, подобие холма, который нашел себе приют у подножия Большого Семячика. Высота его всего 1100 м над уровнем моря, а превышение на местности 200 м. Однако его работоспособности могут позавидовать и большие вулканы.

Бурлящий — один из древних вулканов и один из трех действующих в Семячикском районе, Породы, слагающие

его постройку, сильно изменены под влиянием газопаровых струй, но, судя по наружным склонам, он сложен потоками базальтовых, андезито-базальтовых лав и туфобрекчиями. Вулкан находится в активной сольфатарной и микрогрязевой вулканической деятельности. Газы, проходящие через слой воды озера, все время вспучивают ее, она бурлит, что вполне оправдывает и название самого вулкана. Сольфатары сосредоточены обычно группами. Только в средней части внутреннего восточного склона вулкана их насчитывается 837. Температура газовых сольфатар от 84 до 150°C, газодянных — от 90 до 100°C. Сольфатары насыщены некоторыми минеральными компонентами и особенно серой, поэтому в местах их выхода образуются серные бугры и сернокислые наросты.

Малый Семячик. В группу Малого Семячика входят вулканы Березовый (Двойной), Прибрежный северный, Прибрежный южный, Ступенчатый Бастион, остатки вулкана Стена, а также боковые конусы Малого Семячика.

Малый Семячик — это короткий (около 3 км в длину) хребет, на гребне которого расположены три кратера. Максимальная высота вулкана 1561 м. Подобно предыдущим вулканам, лавовые излияния имеют базальтовый и андезито-базальтовый состав. Переменяясь с обломочным материалом, они образуют стратовулкан.

В. И. Влодавец отметил одно любопытное явление. В кратерном озере обнаружены песчаные пласты, дальнейшее наращивание которых прервалось излиянием лавы. Но позднее в том же кратере вновь началось образование туфогенного песчаника, сцементированного затем окислами железа. «И будет неудивительно, если в туфогенном песчанике будет обнаружена фауна, так как мы сами наблюдали в среднем кратере полужасыпанные вулканическим песком косточки какого-то зверька, являющиеся, по-видимому, остатками от пищи орла. Пройдет некоторое время, этот песок будет сцементирован окислами же-



леза и получится туфогенный песчаник из вулканического материала с фауной в кратере среди лав»\*.

Мы обращаем внимание на это явление по той причине, что оно необычно и не свойственно вулканам, но иногда, в исключительных случаях, имеет место.

Малый Семячик — единственный действующий вулкан этого района с известными датами извержений. По данным К. Дитмара, сильное катастрофическое извержение этого вулкана произошло около 1800 г. В результате этого извержения ручьи и реки были засыпаны, леса уничтожены, а значительные площади покрыты щебнем и песком. Затем слабое извержение произошло лишь через полвека (1851—1852 гг.). Следующий наступивший перерыв длился чуть ли не целое столетие. Затем, как бы спохватившись, вулкан начал давать о себе знать все чаще и чаще. Сильное выделение газов наблюдалось в 1945 г.; оно продолжалось до весны 1946 г. Над кратером не особенно высоко поднималось черное облако. Спустя всего несколько лет, в 1952 г., над вулканом было замечено интенсивное парение.

В настоящее время вулкан находится в сольфатарной стадии деятельности. Выделения происходят только в одном кратере, и все сольфатары сосредоточены вдоль берега кратерного озера (Бурое). Вода этого озера имеет густо-зеленый (до темно-зеленого) цвет и непрозрачна. Как полагают, это озеро необычно (оно является предметом исследований и в настоящее время) и настолько насыщено минеральными компонентами, что его называют еще озером кислот. Здесь в выделениях паров и газов обнаружены  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CH_4$  и  $HCl$ . Температура воды непостоянна и колеблется от 25 до 66°C, в зависимости от того, где и как его пронизывают парогазовые струи.

\* Влодавец В. И. Вулканы и вулканические образования Семячского района. М., Изд-во АН СССР, 1958.

Действие сольфатар seriously сказывается и на горных породах, которые местами сильно изменены.

Таковы действующие вулканы Семячского района. Великолепные скальные обнажения, умеренная деятельность вулканов дают возможность вести тщательные наблюдения за ними, что имеет большое значение для познания всего вулканического пояса Камчатки.

Семячские вулканы, конечно же, интересны. Но когда мы начнем перемещаться к югу, на нашем пути встретятся вулканы, о которых можно только мечтать.

Последуем к одному из них и попытаемся разобраться, почему...

### **Вулкан Карымский — среди всех особенный**

Прежде всего вулкан отличается необычайной активностью и в этом отношении уступает разве что Ключевской сопке. Начиная с 1771 г., когда его извержение было отмечено впервые, он открывал свою пасть 31 раз, оглушая окружающую местность грохотом и гулом, окутывая ее газом, пеплом и мелкодробленным материалом, освещая яркими и частыми вспышками молнии. Только в XX столетии извержения вулкана повторялись 20 раз, причем, за исключением одного извержения (1935 г.), все они были взрывными. И хотя высота вулкана по сравнению с вулканами Ключевской сопки невелика (всего около 1500 м), тем не менее он отчетливо выделяется в рельефе своей правильной слегка усеченной конусовидной вершиной, на которой расположен неглубокий (около 30 м) чашеобразный кратер. Вулкан Карымский вместе с группой других тесно связанных с ним вулканов занимает площадь около 1000 км<sup>2</sup>.

В чем же заключаются особенности вулкана Карымского? Прежде всего в составе продуктов извержения.

Здесь извергаются наиболее кислые породы, отвечающие по составу андезито-дациту и дациту. Изверженных пород со столь высоким содержанием кремнезема не отмечено в каком-либо другом вулкане Камчатки. Такой состав пород обусловил и преимущественно взрывной характер извержения.

Конус вулкана сложен из чередующихся потоков лав андезито-дацитового состава и горизонтов рыхлого пирокластического материала, отвечающего дацитовому составу, т. е. это типичный стратовулкан. Продукты взрыва (рыхлый пирокластический материал) наиболее насыщены кремнеземом, поэтому они даже в раскаленном состоянии являются довольно вязкими. Выдать их на поверхность можно только взрывом огромной силы. Но и следующие за взрывом лавовые потоки также сравнительно вязки, поэтому они уходят от места извержения на небольшие расстояния, образуя короткие языки. Конус вулкана усеян разного размера и формы бомбами, лапилли, покрыт песком и пеплом, т. е. материалом, который выбрасывается при взрывном извержении.

Как уже упоминалось, Карымский вулкан отличается необычно активной деятельностью. Извержения вулкана прослежены, начиная с 1854 г. (К. Дитмар), но более достоверные сведения получены в текущем столетии, в начале П. Т. Новограбленовым, а затем известными советскими вулканологами В. И. Влодавцем, Б. И. Пийпом, Г. С. Горшковым.

Наблюдения за извержением вулкана в последнее десятилетие, проводившиеся сотрудниками Института вулканологии Б. В. Ивановым, И. Т. Кирсановым, М. Ф. Федоровым, Н. В. Огородовым и другими, позволили обобщить некоторые материалы и сделать по ним соответствующие выводы. Особенно это касается продолжительного извержения 1962—1965 гг., которое характеризуется определенной цикличностью — чередованием пароксизмальных (взрывных) и преимущественно умеренных

эксплозивных извержений. Извержения соответствовали вулканскому и вулканско-стромболианскому типам.

Извержение этого периода иногда сопровождалось непрерывным грохотом в течение нескольких суток. Взрывы при первом извержении следовали часто, через каждые 1—5 мин, образуя в ряде случаев огромные газопепловые облака, которые порой поднимались на 8—10 км над вулканом. Эти извержения то затухали, то возобновлялись с новой силой. И так изо дня в день, из месяца в месяц, из года в год. С каждым извержением вулкан доставлял на поверхность какой-либо «сюрприз» в виде шаровых и подушечных лав, необычных вулканических бомб и др.

Коротко о продуктах извержения этого периода и их оригинальности. Прежде всего о лавовых потоках, так не похожих на потоки других вулканов. Представляют интерес подушечные или шаровые лавы, в которых видны отчетливые обособления сферической или эллипсоидальной формы, каждое такое обособленное тело имеет собственную поверхность охлаждения. В одних случаях такие подушечные и шаровые образования являются пустотелыми, т. е. с газовой камерой внутри, другие же отличаются монолитностью.

Образование подобных лав, отмеченное впервые на Карымском вулкане Б. В. Ивановым, представляет значительный теоретический интерес. Раньше считали (и это казалось неоспоримым), что подушечные и шаровые обособления в лавовых потоках могут образоваться только в условиях водной среды, где возможно максимальное проявление сил поверхностного натяжения. Наличие же их в наземных условиях либо отрицалось вовсе, либо ставилось под сомнение. Извержение Карымского вулкана показало, что в исключительных случаях подобные явления возможны и в наземных условиях. Возникновение подушечных и шаровых лав в наземных условиях обусловлено составом кислого расплава и необычайно обильной

газонасыщенностью его; последнее весьма важно, поскольку газонасыщенность (учитывая повышенное содержание фтора) понижает вязкость расплава и поддерживает высокую температуру в течение длительного времени.

Во всех случаях подушечные и лавовые обособления имеют зональное строение — с плотной внешней корочкой закалывания и увеличивающейся от периферии к центру пористостью.

Для Карымского вулкана характерны и вулканические бомбы кислого состава, особенно пемзовидные. Форма их довольно разнообразная — шаровая, грушевидная, трубчатая и т. д., а размеры варьируют от 10 см до 1,5 м в диаметре. Подобно подушечным и лавовым обособлениям, вулканические бомбы также имеют зональное строение с увеличивающейся к центральным частям их пористостью.

Но поскольку вулканические бомбы свойственны всем вулканам, целесообразно коротко остановиться на их происхождении и механизме образования. А. Н. Сирин, изучавший бомбы вулканов Ключевского дола, разделил их на две категории. К первой он отнес бомбы, образовавшиеся из верхнего охлажденного слоя, который по сравнению с более глубоко находящимися прослоями менее насыщен газами. Такие бомбы быстро остывают, покрываясь корочкой закалывания. В воздушной среде эти бомбы приобретают различные формы, но до падения на землю успевают остыть, поэтому не деформируются, полностью сохраняя свою форму.

Ко второй категории относятся бомбы, которые образуются из жидкой, еще не остывшей и более насыщенной газами лавы. Они проходят ту же стадию в воздушной среде, что и бомбы первой категории. Но в них отсутствует корочка закалывания, обладают они большей пористостью, в воздушной среде не успевают остыть и при падении на землю деформируются и могут даже спекаться.

Для нас представляют интерес вулканические бомбы первой категории. Они имеют самую разнообразную форму, что зависит от состава и температуры расплава.

Остроугольные бомбы свидетельствуют о том, что они образованы из остывших осколков лавовой корки, не поддавшейся в дальнейшем особой деформации.

Встречаются эффектные шарообразные бомбы, тоже образовавшиеся из сравнительно вязкого и бедного газом расплава при умеренных либо больших скоростях вращения (в зависимости от размера бомбы) и при изменяющемся направлении оси вращения.

Наиболее распространены эллипсоидальные бомбы. Они образуются в воздушной среде вследствие вращения пластического куска лавы при относительно постоянном направлении оси вращения. Разнообразие формы их, при прочих равных условиях, в основном зависит от скорости вращения исходного материала.

На примере Карымского вулкана можно хорошо продемонстрировать и характер извержения. Вначале появляется газопепловая туча, которая, увеличиваясь в размерах, заслоняет небосвод, поднимаясь все выше и выше. Такие тучи, состоящие из газа, пепла и другого мелкообломочного вулканического материала, поднимаются иногда на высоту до 10 км.

Но затем вулкан несколько успокаивается, начинается излияние лавового потока, который из кратера устремляется вниз по склону. Поток, как и рыхлые продукты взрыва, имеет кислый, андезито-дацитовый состав, поэтому движение его медленное и небольшой протяженности. Лавовый поток постепенно увеличивается, ускоряет свое движение по склону и уже едва ли не достигает подножия вулкана. Расплав лавового потока обильно насыщен газами, которые парят на значительном протяжении его, а в некоторых местах происходят повторные взрывы. А вот лавовый поток скатывается по склону в разных направлениях, выбирая себе путь по впадинам или про-

моинам. Склон книзу выполаживается, и лавовый поток медленно сползает к подножию вулкана.

В дальнейшем поток глыбовой либо подушечно-шаровой лавы медленно перемещается по пологому склону местности. Временами глыбы скатываются по фронтальной части потока или по бокам его, создавая прерывистый гул и своеобразное шуршание. Отдельные площадки потоков окутаны дымом и паром; создается впечатление, что перед вами фумаральные поля.

Карымский, несомненно, захватывающий объект, вулкан с завидной судьбой. Но сделаем небольшую передышку. От вулкана Карымского, порадовавшего нас столь яркими событиями и поведавшего много нового, переместимся далее к югу. На горизонте уже виднеется протяженный массив, вытянутый в северо-восточном направлении в виде хребта. Он образован группой вулканов, среди которых два действующих —

## **Жупановский и Дзензур**

Вулканы расположены в живописном месте между реками Жупановской и Налачевой, впадающими в Тихий океан.

Жупановский вулкан имеет немалую для этих мест высоту — 2929 м. Это крупный стратовулкан. В вулканическом массиве отчетливо выступают четыре конуса, сложенные андезитами, андезито-базальтами и базальтами. Примерно такого же состава лавы, залегающие в основании вулканических конусов.

Для вулкана характерны взрывные извержения с выбросом мелкодробленого вулканического материала и излиянием лавовых потоков. Крупных извержений Жупановский вулкан не дает, но изредка поднимает облака пыли и газа на значительную высоту над кратером. Так было в 1776, 1882, 1925, 1929, 1940, 1956 и 1957 гг.

В настоящее время отмечается лишь фумарольная деятельность, приуроченная к средней части вулканического массива.

Северо-западнее Жупановского находится вулкан Дзензур. Это крупный, но сильно разрушенный стратовулкан, который по высоте несколько уступает Жупановскому (высота его 2285 м).

На этом вулкане можно проследить излияние потоков, которое происходило в несколько стадий. Древние потоки выступают в виде гребней, поверхность которых уже разрушена, а молодые, находящиеся преимущественно в долинах, имеют свежий вид, свежую глыбовую поверхность.

Достоверных сведений об извержении вулкана в историческое время не имеется. Предположительно последнее из них произошло в 1923 г. Отмечаются излияния лавовых потоков из побочных кратеров, которые порой имеют протяженность до 10 км. Но изучение изверженного материала показывает, что небольшие взрывные извержения имели место и позднее. Современная вулканическая деятельность сосредоточена на дне кратера, в котором фонтанируют парогазовые струи и образован кипящий грязевый котел. Как видим, здесь отсутствуют особо яркие события вулканической деятельности. И все же изучение и Жупановского вулкана, и вулкана Дзензур вносит соответствующий вклад в общее познание вулканов Камчатки.

Настало время переместиться еще южнее, в пределы расположения Авачинской группы вулканов. Здесь находятся два действующих вулкана — Авача и Коряка.

## **Авача — беспокойный сосед Петропавловска**

Этот вулкан пользуется у камчатцев, особенно жителей Петропавловска-Камчатского, необычайной популярностью. Он всегда и у всех на виду. Вулкан — как бы со-

ставная часть города, своеобразное украшение его. Как только люди попадают на шоссе, которое ведет на запад, к Елизово, или поднимаются на возвышенность, — вулкан Авача перед ними. На него приятно смотреть каждый день, он подобен хорошему гостю. Пассажиры автобусов или иного транспорта, проезжая по этому шоссе, часто, поворачивая головы в сторону Авачи, спрашивают друг друга: «Что-то он сегодня слабо дымит». Но иногда он ведет себя по-другому, и тогда говорят: «Что-то он сегодня разошелся».

Авачинский вулкан — один из наиболее активных на Камчатке. Он постоянно в работе, хотя ритм ее неодинаков. Это и необычайно интересный, и эффектный двойной вулкан, имеющий ступенчатое строение. Нетрудно заметить, даже с большого расстояния, что конус вулкана находится как бы во впадине, имеющей крутую кромку. Эта кромка является остатком старого конуса, опоясывает современный конус вулкана наподобие огромного воротника. Вот и получается конус в конусе, или двойной вулкан.

Для того чтобы мог образоваться один конус вулкана в другом, должно последовать очень сильное катастрофическое извержение. Так было и здесь. Когда-то вулкан Авача имел конус, высота которого была намного выше современного. Но взрывом огромной силы, который произошел очень давно, около 3 тыс. лет назад, была снесена полуторакилометровая вершина конуса. Образовался огромный кратер, открытый в юго-западном направлении. Последнее обстоятельство объясняется тем, что гигантский взрыв был ориентирован в том же направлении и вместе с вершиной конуса унес кромку кратера. Это извержение направленного взрыва, подобно тем, какие недавно произошли на вулканах Безымянном и Шивелуче, но только сила его на Аваче была более могучей. Направленный взрыв хорошо прослеживается по выброшенным вулканическим продуктам. Они отложились на площади,

над которой промчались тучи газов и раскаленных вулканических обломков, очерчивая сектор направленного взрыва. О силе взрыва дает представление следующее: глыбы весом в десятки тонн перебрасывались на расстояние до 25 км от центра извержения. Эти и другие вулканические продукты, которые отложились после взрыва, хорошо наблюдаются в современных естественных и искусственных обнажениях (карьерные выработки).

В дальнейшем, в образовавшемся огромном кратере, в результате многократных, но несравненно более слабых извержений стал расти новый купол, в котором перемешались рыхлые отложения (результат взрывов или эксплозий) и лавовые потоки. Образовался стратовулкан, достигший к настоящему времени высоты 2751 м. По мере того как будут продолжаться извержения, высота конуса будет увеличиваться.

Так образуется двойной вулкан, или конус в конусе. Но такие вулканы имеют и другое название. Впервые подобное строение отмечено на вулкане Везувий в Италии. Здесь также на месте взорванного конуса образовался новый. Но так как остатки старого конуса называются «сомма», то вулкан называли «Сомма-Везувий». В дальнейшем так именовались все двойные вулканы. И о вулкане Авача говорят, что он построен по типу «Сомма-Везувий».

На Камчатке к вулканам такого типа можно отнести Ильинский, Желтовский и другие, но они не идут ни в какое сравнение с вулканом Авача.

Как видите, для вулкана свойственны извержения необычайной силы. Но это было очень давно; с тех пор прошли тысячи лет, а подобные извержения не повторились.

Как было упомянуто выше, вулкан Авача — один из наиболее активно действующих. За 235 лет, т. е. начиная с 1737 г., было отмечено 16 извержений вулкана, в среднем за 15 лет одно извержение. Но иногда эти промежут-

ки были очень сближены во времени (1772—1779 гг., 1938—1945 гг. — по 7 лет), в других случаях имелись большие паузы (1827—1855 гг. — 28 лет).

Для вулкана характерны извержения вулканического типа, т. е. в виде взрывов вследствие периодической закупорки жерла вулкана; они часто сопровождаются раскаленными лавинами, значительно реже изливаются лавы. В остальное время он почти непрерывно дымит, выделяя газ и пар.

Как же вулкан ведет себя сейчас? Остановимся коротко на двух последних извержениях, которые произошли в 1938 и 1945 гг., чтобы уяснить «почерк» Авачинского вулкана.

Извержение 1938 г. не было внезапным. Признаки его появились по крайней мере за полгода. Само же извержение произошло 6 марта. Как и предыдущие, оно началось взрывом. Над вершиной вулкана взметнулось газовое облако, которое рассекалось частым сверканием молний, ярко освещающих предраассветные сумерки. Из кратера вылетали разного размера раскаленные вулканические частицы, которые растопили находившиеся вокруг лед и снег. Образовавшийся громадный грязевой поток хлынул на равнину, уничтожая все на своем пути. Но поток пронесся лишь 16 км, и силы его иссякли. Все же он успел опустошить на своем пути широкую полосу.

Извержение Авачи повторилось в конце марта того же года, когда взрывом на высоту 5 км был поднят столб газов. Выброшено много рыхлого вулканического материала, способствовавшего образованию грязевых потоков.

Еще много раз выбрасываемые из жерла вулкана раскаленные частицы озаряли его вершину, но людям особой угрозы они не представляли. Ущерб был нанесен лишь полям, по которым пронеслись грязевые потоки.

Извержение 1945 г. началось в феврале и казалось внезапным. Это извержение изрядно исполошило жителей Петропавловска. Казалось, начался Давтов ад —

варывы следовали один за другим, огромные газопепловые облака, озарявшиеся непрерывно сверкавшими молниями, взметнулись на высоту до 7—8 км, был слышен непрерывный грохот. Извержение сопровождалось ощутимым землетрясением в Петропавловске, находящемся в 30 км от вулкана. Раскаленные куски выбрасывались на километровую высоту. От вулкана к океану протянулась сплошная пепловая туча. В зоне пеплопада слой выпавшего пепла достигал полуметровой мощности.

Извержение было кратковременным и, подобно предыдущему, обошлось без человеческих жертв, хотя ущерб, нанесенный им (главным образом гибель растительности), очевиден.

Изучение более древних извержений показывает, что сила их и характер были примерно такими же, как и два последних. Внимательные наблюдения за поведением вулкана Авача в настоящее время свидетельствуют о том, что активность его временами усиливается, но особой опасности не представляет.

Иногда возникают суждения о том, что ожидается необычайно сильное, катастрофическое извержение вулкана Авача. Такие суждения ничем не обоснованы. Хотя вулкан и является беспокойным соседом Петропавловска, однако же деятельность его довольно умеренная. Извержения Авачи в будущем будут примерно такой же силы, какая была присуща прошлым извержениям исторического времени.

Для вулкана характерно наличие экзтрузий в боковых частях подножия старого конуса. Одна из таких экзтрузий выступает весьма эффектно и за свою оригинальную форму получила название «Верблюд».

Вулкан интересен и еще в одном аспекте: геофизическими исследованиями установлено, что магматический очаг вулкана находится очень близко от поверхности, на глубине всего 3—5 км, представляя собой огромный энергетический резерв.



Авача — вулкан своеобразный, интересный, во многих отношениях не похож на другие. Но он — только составная часть Авачинской группы вулканов. В эту группу входят также давно потухшие вулканы Ааг (2187 м), Арик (2319 м) и ныне действующий Коряка.

## Вулкан Коряка

Действующий вулкан Коряка — истинный красавец, который своим ростом превосходит все остальные в этой группе, высота его 3456 м. Это типичный стратовулкан, имеющий очень правильную, можно сказать, классическую форму конуса. На вершине конуса в юго-западной части его расположен современный кратер диаметром 90 м и глубиной всего 24 м, редко утруждающий себя работой. В северной части вершины находится древний кратер, заполненный в настоящее время мощным ледником. Конус вулкана запоминается еще и потому, что на нем хорошо заметны глубокие врезы, даже если они покрыты снегом.

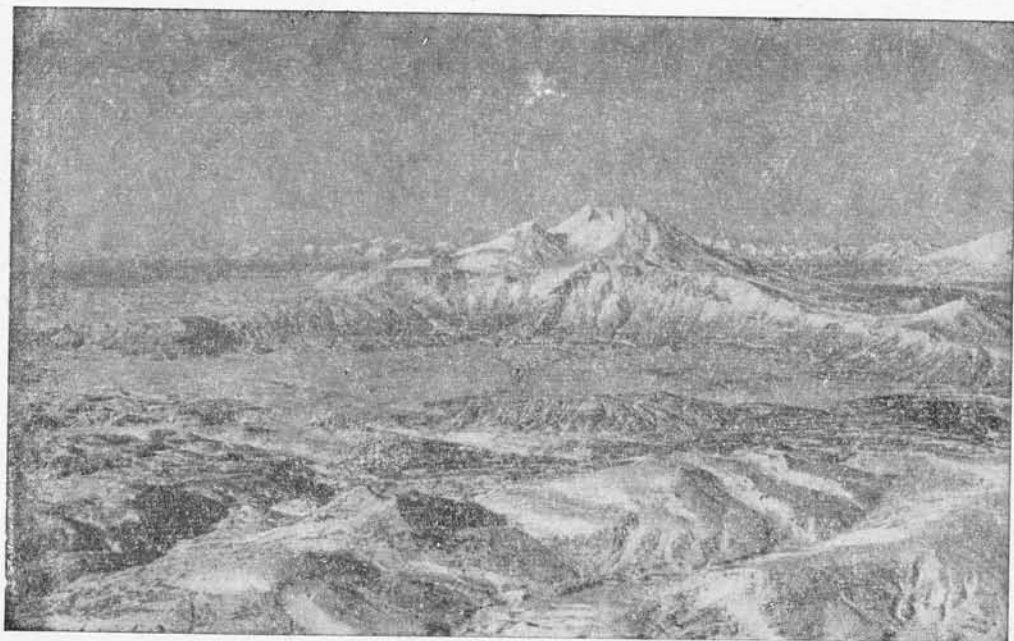
Коряка и Авачинский представляют собой великодушное украшение местности, хорошо видны за десятки километров и, кажется, обойтись без них невозможно.

Вулкан Коряка имеет и свои особенности. Они заключаются в том, что он очень редко находится в активной стадии. В отличие от своего неугомонного соседа Авачи вулкан Коряка в историческое время пробуждался только дважды — в 1895—1896 и в 1956—1957 гг., да и то его деяния были весьма умеренными.

Первое из этих извержений было довольно слабым, взрывных явлений не последовало и из его кратера спокойно изливались лавовые потоки. Языки этих потоков можно видеть и сейчас на склонах конуса, но они не достигли даже его подножия. Словом, масштабы вулканической деятельности не соответствуют «росту» вулкана. По-



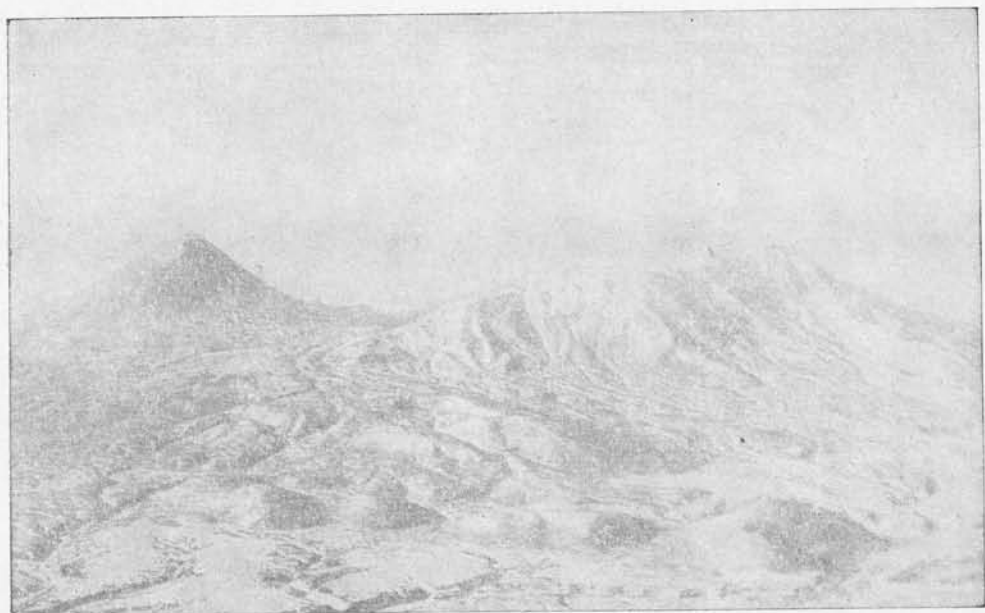
Серно-кислотный цирк — кратер вулкана Кихинич.



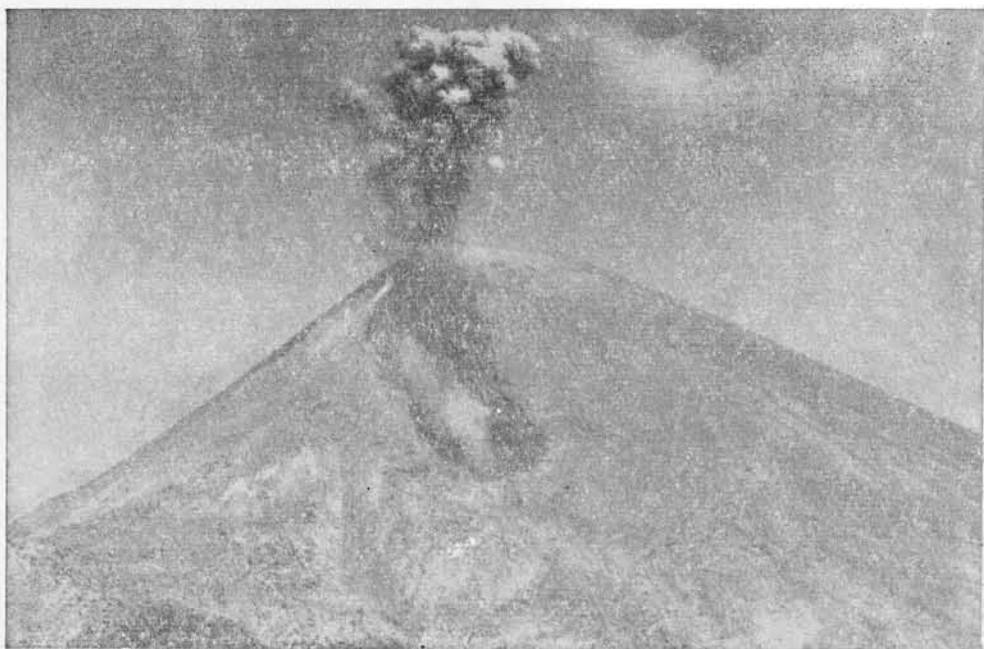
Кальдера Узон или обезглавленный вулкан. На дальнем плане вулкан Таунциц.



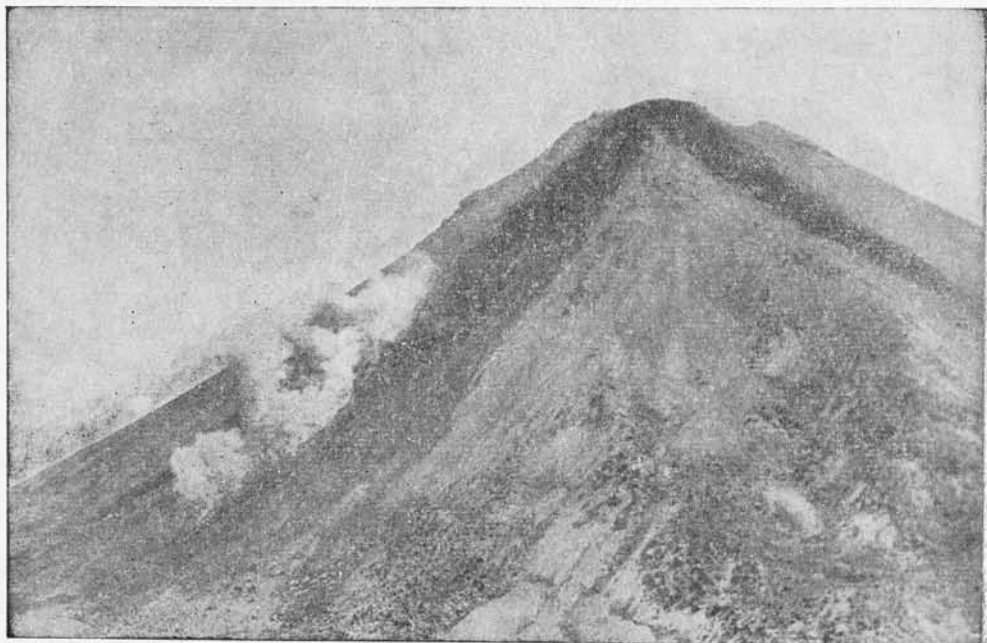
Большой кратер Малого Семячика.



Вулкан Карымский. Общий вид. Справа — кальдера Двор.



Вязкий лавовый поток вулкана Карымского преодолел кромку кратера и устремился вниз.



А теперь уже не один, а два потока скатываются вниз по склону конуса вулкана.  
На потоках обильное выделение паров и газов.

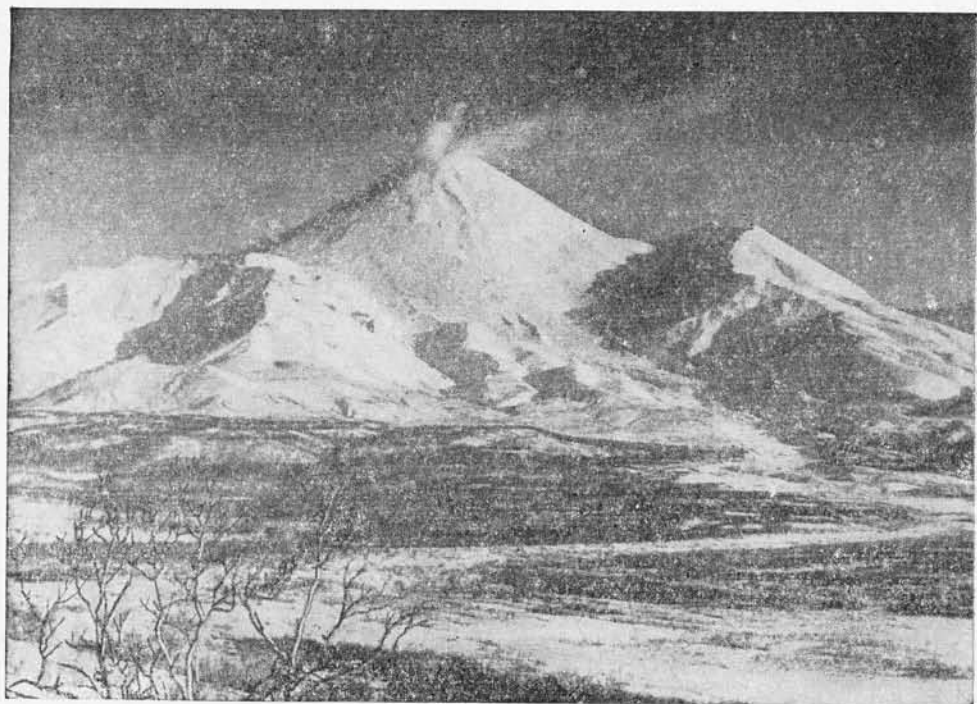


Словно гигантская клюшка — застывший лавовый поток вулкана Карымского.

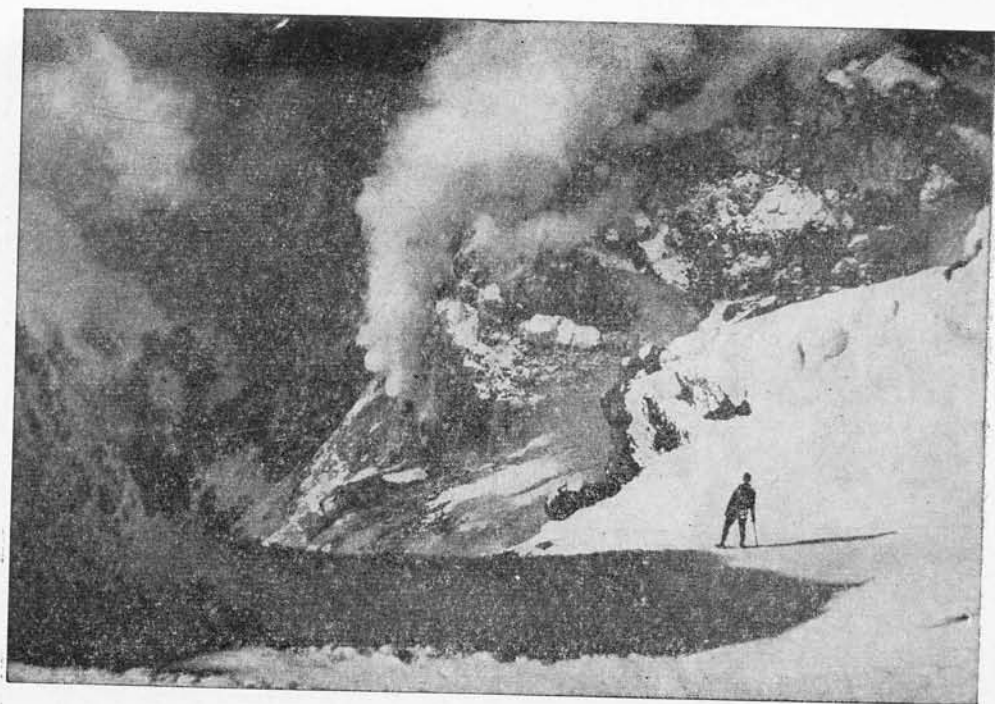




Стенка крупноглыбового лавового потока вулкана Горелого.



Вулкан Авача во всем своем великолепии и знаменитом уборе: справа и слева хорошо  
виден остаток когда-то взорванного старого конуса — «сомма».

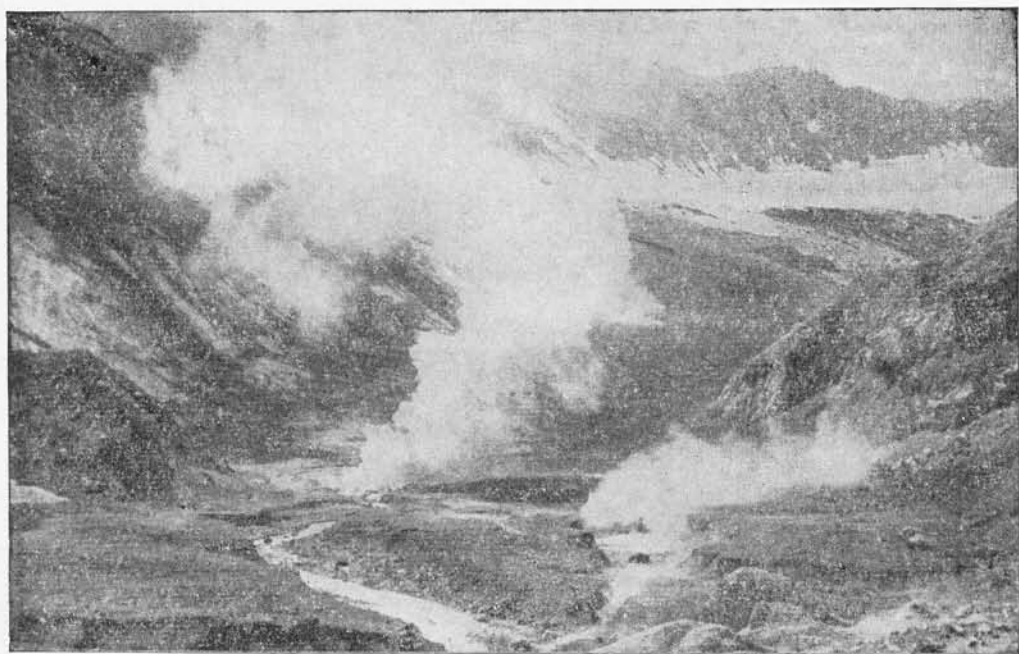


На предыдущем снимке виден только факел над кратером вулкана Авача. А на этом — дно  
кратера, где можно удостовериться в современной вулканической деятельности его.

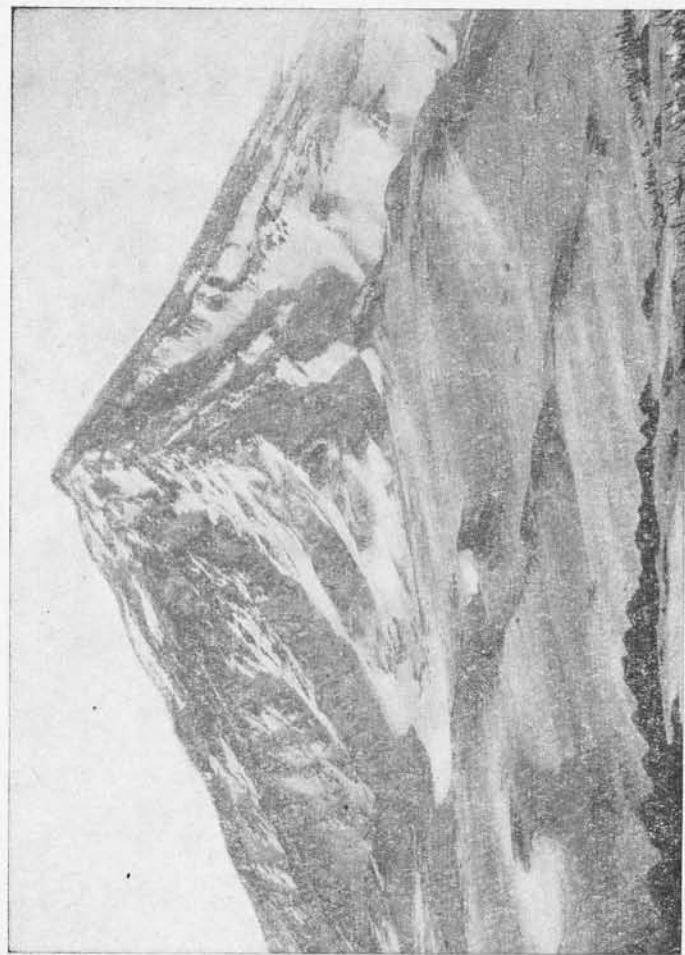




Вулкан Мутновский. Робкое начало — видны лишь отдельные струи. Но затем он показывает обычную для него работоспособность, закрыв сплошным облаком постройку вулкана.



Вот и те места, где сосредоточена вулканическая деятельность Мутновского — нижнее фумарольное поле и Активная воронка.



Рядом с Авачей находится громада — сияющая красавица — Корякский вулкан.

сле этого вулкан проявлял лишь слабую фумарольную деятельность.

Более выразительным было последнее извержение (1956—1957 гг.). Пробуждение вулкана сопровождалось серией землетрясений, впрочем, не очень сильных. В 1956 г. образовалась трещина длиной до 500 м и шириной 10—15 м. Из нее выбрасывался пепел и другие мелкообломочные вулканические продукты и выделялись газы, поднимавшиеся на высоту 1600—1700 м. Но трещина вскоре была засыпана плаками и мелкими обломками.

Это было взрывное извержение и отличалось от других полным отсутствием лавовых излияний. Наиболее интересными были газовые выделения из ряда оставшихся в этой трещине отверстий. А. Н. Сирин и К. М. Тиммербаева, непосредственно наблюдавшие газовые фонтаны этого вулкана, отмечают, что это очень эффектное зрелище. Отчетливо улавливались характерные звуки, издаваемые газовыми струями, похожие на хлюпанье, свист, шипение, уханье, причем все это повторялось через определенные промежутки времени, что свидетельствовало о периодическом действии этих струй; изредка в них появлялась примесь темно-серого пепла, который быстро осаждался, не выходя за пределы конуса.

Выделение паров и газов на Корякском вулкане можно часто видеть и теперь.

### **Мунтовский не знает усталости**

Вулкан Мунтовский не столь знаменит, как его северные коллеги, но он часто показывает Петропавловску свою визитную карточку в виде парогазового облака, поднятого на значительную высоту. Тут уж никто не может усомниться в его работоспособности.

Это действительно неустанный труженик, хотя на лидерство и не претендует. Здесь не было столь мощных катастрофических извержений, какие были присущи Ава-

чинскому вулкану в далеком прошлом или Безымянному в настоящем. Но он вовсе не молчал и только за одно столетие заявлял о себе, и довольно громко, 15 раз, т. е. в среднем через каждые 6—7 лет. Десять раз взрывные извержения проявлялись в текущем столетии, в том числе в 1927—1929, 1938, 1939, 1945, и 1952 гг. Последние небольшие извержения были в 1960, 1961 и 1964 гг. В остальное же время вулкан непрерывно дымит и среди вулканов Камчатки проявляет наиболее активную фумарольную деятельность. В этом одна из особенностей вулкана. Вторая особенность его — отсутствие либо весьма редкое появление лавовых потоков. Для него характерна главным образом взрывная деятельность, когда на поверхность выбрасываются рыхлые вулканические продукты. Вулкан находится в 80 км к югу от Петропавловска-Камчатского. Но он хорошо заметен отсюда по парящим над вулканом мощным фумаролам, испарение которых неравномерное. Оно то усиливается, и тогда хорошо видно мощное столбообразное белое облако, то ослабевает, когда заметны лишь расплывчатые и постепенно исчезающие светлые пятна. Так продолжается непрерывно много лет.

Когда же в вулкане накопится много энергии, происходит взрывное извержение, которое сопровождается землетрясением. Последнее заметно ощущается даже в Петропавловске. В таких случаях над вулканом на высоту нескольких километров поднимается грибообразное серое облако, содержащее мелкодробленные вулканические частицы.

Вулкан не имеет филигранно отточенного конуса, какие присущи Ключевскому, Кроноцкому или Корякскому. Но в далеком прошлом, когда взрывные извержения чередовались с излиянием лав, вулкан все время наращивался и достиг значительной высоты. В это же время были образованы два конуса. Но затем извержения сменились главным образом взрывными, и вершины обоих конусов были снесены. В воронке взрыва одного из них

возник более молодой вторичный конус, подобно тому, как это произошло на вулкане Авача. Этот теперь уже тоже полуразрушенный вторичный конус и является высшей отметкой вулкана — 2324 м над уровнем моря.

В результате последующих разной продолжительности и силы взрывов была образована кальдера диаметром около 4 км. В ней появилось несколько кратеров, или воронок, в том числе воронка, которую назвали Активной. В Активной воронке наиболее интенсивно проявляется фумарольная деятельность.

Размеры этого кратера-воронки таковы: внешняя часть  $380 \times 250$  м, дно  $170 \times 150$  м, глубина 200—300 м. Над ней почти постоянно парит столб пара, который то едва виден над поверхностью воронки, то вдруг взвивается выше на километровую высоту.

Все это хорошо можно наблюдать вблизи вулкана. Такая возможность нам и представилась в 1971 г. Остановившись в базовом домике Института вулканологии, находящемся на левом берегу р. Освистанной, мы еще за несколько километров от вулкана могли наблюдать работу фумарол в Активной воронке. Когда же подошли к ней поближе, то смогли не только видеть, но и слышать шипение и рев фумарольных фонтанов.

Детальные наблюдения за вулканом Мунтовским и его фумарольной деятельностью проводились в основном И. Т. Кирсановым, а также некоторыми другими научными сотрудниками Института вулканологии. Отмечается, что самые активные фумаролы в этой воронке приурочены к открытым трещинам. Из них с огромной скоростью вырываются струи газа, нагретого до 500—800°C, образуя бесцветные фонтаны, которые вскоре превращаются в клубы белого пара. Стенки трещин раскалены, что заметно по ярко-красному свечению, и во многих местах покрыты возгонами серы, нашатыря и сульфатов.

Тепловая мощность Активной воронки огромна. Полученная величина выноса тепла равна 450 тыс. ккал/с, что

соответствует 900 м<sup>3</sup> насыщенного пара в секунду или 500 кг перегретого пара.

Опробование фумарольных струй этой воронки с температурой 320—500°C показывает, что они содержат 97,5—98,5% паров воды. Остальные компоненты принадлежат кислым газам, в составе которых отмечается плавиковая (HF) и соляная (HCl) кислоты, сернистый газ (SO<sub>2</sub>), сероводород (H<sub>2</sub>S), аммиак (NH<sub>3</sub>), углекислый газ (CO<sub>2</sub>), окись углерода (CO), метан (CH<sub>4</sub>), водород (H<sub>2</sub>), кислород (O<sub>2</sub>). Наибольший объем среди них занимают CO<sub>2</sub> (40—75%) и HCl (8—27%).

В некоторых местах видны впадины, заполненные насыщенной серой грязью. На выходе фумарольных струй (температура 150—180°) видна расплавленная сера; в более высокотемпературных фумаролах она уже отсутствует.

Во время постоянной фумарольной деятельности выделяется значительное (от 600 до 1000 тыс. ккал/с) количество тепла. Это свидетельствует о том, что вулкан в целом, и особенно Активная воронка, находится в стадии газового извержения. Породы на наиболее активных участках раскалены, температура их достигает 750—900°C.

Восточнее перевала между горами (экструзиями) Двугорбой и Скалистой и к северу от вулкана Мутновский находятся Дачные термальные источники. Они очень хорошо видны с большого расстояния. Это, по сути, фумарольные поля, которыми обогреваются проточные грунтовые воды. Источники интересны тем, что находятся в области разрывных нарушений. На участке разгрузки терм эти нарушения хорошо прослеживаются по смещенным блокам вулканических пород и зонам дробления. Все эти нарушения и способствовали выходу на поверхность горячих газов и паров. Температура газовой смеси на этом участке близка к точке кипения.

На вулкане Мутновском и вблизи него сосредоточено большое количество непрерывно парящих фумарол и тер-

мальных источников. Фумарольная деятельность — те же вулканические извержения, проявляющиеся в выходе газов. Такое обилие их выходов наблюдается не так уж часто. Вулкан Мутновский является уникальным объектом и по этой причине привлекает пристальное внимание исследователей. На его примере можно не только выяснить температурный режим и состав газов, но и проследить взаимоотношения между разнообразными формами вулканической и гидротермальной деятельности.

### Скрытая красота Горелого

К северо-западу от вулкана Мутновского находится действующий вулкан Горелый. Он не привлекает внимания ни внешним видом, ни своей деятельностью. И тем не менее это очень интересный вулкан.

Вулкан Горелый малоприметен. У него нет выдающихся вершин, он тих, спокоен и редко просыпается (в течение почти полутора сотен лет он заявлял о себе всего 7 раз, т. е. в среднем через 21 год). Высота его тоже невелика — 1829 м, да и форма необычна. Это не конусовидная гора, как большинство вулканов Камчатки, а хребтообразный массив, образовавшийся из нескольких слившихся вулканических конусов. Кратер тоже не один, как это обычно бывает у других вулканов. Их тут насчитывается большое семейство — 9 кратеров. Не может похвастаться Горелый и своей силой. Извержения здесь не только редкие, но и не сильные и в настоящее время ограничиваются главным образом выбросами пепла и песка.

Но это теперь он такой «скромный», а ведь когда-то бушевала его стихия. Да еще как! Это был громадный вулкан с диаметром основания лишь немного меньше, чем у вулкана Шивелуч, — около 25 км, и по высоте, вероятно, не уступал ему. Из его жерла изливались длинные лавовые потоки базальтов, которые, покрывая восточные и южные склоны конуса, достигали Вилучинского вул-

кана. Эти застывшие потоки можно видеть и сейчас. Но так не могло продолжаться бесконечно. Магматический очаг иссяк, и вулкан рухнул, провалился, образовав огромную кальдеру размером  $12 \times 10$  км.

Однако жизнь вулкана не прекращалась. Извержения продолжались и в этой кальдере, но только не из одного, а из нескольких кратеров. Оно наращивало конусы, которые в конце концов слились, образовав протяженный массив.

Побывав на вулкане, осмотрев этот оригинальный вулканический хребет и размещенные на нем потухшие и действующие кратеры, кратерные озера, можно убедиться, что вулкан своеобразен и красив.

В чем же красота Горелого? Именно в строении самого хребта, усеянного кратерами, каждый из которых имеет свои особенности, а все вместе они создают неповторимый ансамбль.

Вот один из самых крупных и красивых кратеров вулкана Горелого — Голубое озеро. Дно кратера залито водой нежно-голубого цвета, откуда возникло и название самого озера. Стенки кратера обрывистые и в некоторых местах достигают высоты 250 м. Скальные великаны угрюмы и как бы настороженно оберегают красоту озера. Или другой кратер — Чаша, который находится на вершине невысокого конуса. Диаметр кратера около 200 м. Здесь на глубине 75 м тоже расположено озеро, но в нем вода уже фиолетового оттенка. Или кратер Цилиндр, своеобразный по форме и точно соответствующий своему названию. И еще один кратер — Кратерное гнездо, но это уже сочетание, симбиоз старого кратера и двух молодых, расположенных на дне старого. Оригинальным представляется кратер Щель, названный так за свою форму. Это относительно длинный, узкий и глубокий кратер.

Столь же оригинальны и своеобразны и другие кратеры вулкана Горелого. В этом и заключается скрытая красота вулкана,

Вулкан Горелый по своему характеру в какой-то степени напоминает Мутновский. Подобно ему, Горелый находится в фумарольной стадии деятельности, активность которой неодинакова — то усиливается, то ослабевает или даже прекращается вовсе.

Наибольшая активность фумарольной деятельности проявляется в Гнездовом кратере на центральном конусе вершины. Над ним часто парит столб газа высотой до 200 м. При усилении деятельности серое или серо-белое облако поднимается значительно выше (до 800—1000 м), приобретая грибообразную форму. Иногда облако, парящее над вершиной Горелого, видно из Петропавловска-Камчатского.

Здесь нет столь высокотемпературных фумарольных струй, как это отмечалось на вулкане Мутновском. На выходе температура колеблется от 30 до 60°C, иногда 80°C, и только на глубине одного-двух десятков сантиметров она поднимается до 90°C.

В составе газов преобладает азот, содержится небольшое количество углекислого газа, кислорода и, по-видимому, много серы, поскольку она накапливается вокруг фумарольных отверстий. Обломки пород в поле деятельности фумарол пропитаны гидроокислами железа, а местами они изменены до каолиновых и опал-алунитовых разностей. Иногда промежутки между обломками заполнены гипсом и серой.

Нам уже приходилось говорить о лавовых потоках вулканов Ключевского, Плоского Толбачика, Карымского и других. Лавовые потоки Горелого несколько иные. Встречаются здесь мощные потоки с относительно монолитной серединой и неровной, нередко вспученной поверхностью. В таких потоках часты полости, иногда значительных размеров, подобие небольших пещер. Для вулкана Горелого характерен и волнистый тип лавовых потоков. Такие лавы прослеживаются по пологим склонам на большие расстояния. По южному склону вулканиче-



ского массива можно проследить и другие лавовые потоки — наплывы, выжатые бугры на поверхности и т. д. С лавовыми потоками тесно связаны вулканические бомбы. Они тоже необычны. Из того же лавового материала, без корочки закаливания, выбрасывались вспученные куски. Но они не успевали остыть в воздухе, поэтому при падении на землю сильно деформировались. Некоторые участки лавовых потоков покрыты мощным слоем песка и пепла более поздних извержений.

Таков, на первый взгляд, неприметный, а в действительности во многом интересный вулкан Горелый.

Последуем дальше. К западу от вулкана Горелого, в центральной части Южной Камчатки, возвышается большой вулканический массив. Это один из действующих вулканов Камчатки —

## Опала

Вулкан размещен в северной части большой кальдеры, возникшей на вершине древнего вулкана, диаметр основания которого равен 30 км. Размер кальдеры довольно внушительный (12×15 км).

Вулкан уединен, поэтому хорошо выделяется на местности. К тому же правильный конус его поднимается почти на 2500 м. Конус вулкана изоброжден глубокими промоинами, по которым книзу лентами спускаются снежные языки.

В отличие от кальдеры, сложенной базальтами и андезитами, конус вулкана построен только андезитовыми лавами и туфами такого же состава и представляет собой обычный, но весьма внушительный стратовулкан. На восточном склоне конуса есть впадина — подобие бокового кратера, в котором выступает экструзивное тело кислого дацитового состава.

Извержения вулкана Опала в историческое время отмечались не однажды, а именно в 1776, 1827, 1854 и

1894 гг. Для вулкана характерны взрывные извержения с выбросом пелловых туч и интенсивным выделением газов. В настоящее время вулкан молчит, не проявляя активности. Пожалуй, его можно отнести к потухшим вулканам. Надолго ли?

## Вулкан Ксудач

На юге полуострова Камчатка сосредоточена группа действующих вулканов — Ксудач, Желтовский, Ильинский, Кошелева, Камбальный. Среди них нет подобных Шивелучу, Ключевскому или Авачинскому, прославленным своим величием. Тем не менее по-своему эти вулканы интересны и каждый из них имеет свои особенности. С вершины любого из этих вулканов виден и Тихий океан на востоке, и Охотское море на западе.

Среди перечисленных вулканов, как кажется, наименее приметен Ксудач — высота его всего 900 м. Однако первое впечатление может быть и обманчивым. В недавнем прошлом вулкан был совсем иным. Еще в начале XX в. один из первых исследователей Камчатки К. Дитмар запечатлел его в виде огромного расплывшегося кратера. Но затем вулкан, можно сказать на глазах человека, изменил свой облик до неузнаваемости. Ксудач — громадное вулканическое сооружение. По наиболее поздним сведениям Ю. М. Дубика, диаметр основания его почти 35 км. Внешнее очертание кальдеры Ксудач представляет правильный круг, диаметр которого равен 9 км. Высота стенок кальдеры в некоторых местах достигает 700 м, глубина ее тоже довольно внушительная (300—400 м).

Вот вам и неприметный вулкан!

В кальдере несколько озер. Самое крупное из них Ключевое сечением 4×3 км и глубиной до 85 м.

В северной части кальдеры возвышается конус-кратер, названный именем Штюбеля. Он имеет весьма поло-

гие внешние склоны ( $10-15^\circ$ ): в верхней части конуса находится кратер, образованный взрывом в 1907 г.

Что же собой представляет этот вулкан? Детальные наблюдения Ю. М. Дубика показали, что вначале образовался стратовулкан. Продукты, которые извергались в это время, относились к базальтам. Но в связи с тем, что периоды покоя между извержениями довольно значительные, в магматическом расплаве за этот промежуток увеличивается количество кремнезема (или, как говорят, произошла дифференциация расплава). Поэтому в более позднее время на поверхность поступал кислый расплав, которым и были образованы пемзовые потоки, перекрывшие площадь в  $450 \text{ км}^2$ , объем же этих пемз оценивается в  $9 \text{ км}^3$ !

Поскольку расплав очень насыщен газами, произошли взрывные извержения и значительная часть конуса стратовулкана диаметром около 9 км была снесена. Так, в среднечетвертичное время образовалась громадная кальдера Ксудач. Но и позднее вулкан не находился в покое. Только теперь взрывные извержения сочетались с ростом экструзий. В кальдере возник конус сложного строения, в котором отмечаются основные и кислые породы.

В историческое время известно лишь одно извержение вулкана, которое произошло в начале нашего века. Случилось оно 28 марта 1907 г. Это было необычайно сильное, катастрофическое извержение, равное по мощности извержениям вулканов Безымянного (1956 г.) или Шивелуча (1964 г.). Извержение отчасти разрушило конус Штюбеля и образовало кратер диаметром 1,5 км. Объем выброшенного взрывом материала равен почти  $3 \text{ км}^3$ . Как и у вулкана Безымянного, это было взрывное извержение направленного действия. Мощность взрывных отложений вблизи кратера достигает 10 м. Мелкодробленый вулканический материал (песок, пепел) был разнесен на расстояние до 1000 км от центра извержения.

Любопытно отметить, что извержение вулкана Ксу-

дач в 1907 г. заметно отразилось на атмосферных явлениях нашей планеты. В Европе в 1907 г. отмечалось удлинение сумерек и ослабление дневного света. Предполагается, что своеобразные ночные облака и так называемые «белые ночи» в 1908 г. также явились следствием запыления атмосферы в результате извержения вулкана Ксудач.

В настоящее время Ксудач находится в стадии слабой фумарольной и гидротермальной деятельности.

Вулкан (или кальдера) Ксудач в чем-то похож на кальдере Узон. В обоих случаях взрывное извержение сочеталось с обрушением. В кальдере Ксудач произошло грабенообразное опускание по кольцевому контуру. Однако в кальдере Ксудач возник конус-вулкан, а в кальдере Узон этого не произошло, все ограничилось образованием выжатых экструзивных куполов липаритового и дацитового состава.

## Вулкан Желтовский

Переместимся от вулкана Ксудач к юго-западу. Все ближе подходим к южной границе Камчатки. Если действительно принять изображение Камчатки за огромную рыбу, то сейчас мы находимся на ее голове, где вдали у нее сверкает рыбий глаз — жемчужина полуострова, красивейшее Курильское озеро. Вблизи озера расположен исполинский массив — вулкан Желтовский. Он более чем в 2 раза превышает своего северного соседа — вулкан Ксудач, имея почти двухтысячную отметку. По своей высоте в этой группе он уступает лишь вулкану Камбальному.

Желтовский — типичный стратовулкан, его конус образован изливанием лавовых потоков, перемежающихся с мелкодробленным вулканическим материалом. На вершине усеченного конуса вулкана имеется кратер ( $300 \times 700 \text{ м}$ ), заполненный водой.

Своеобразие вулкана в том, что он построен по типу «Сомма-Везувий». С таким типом мы уже встречались при описании Авачинского. Правда, Желтовский не может с ним конкурировать, но тем не менее сходство имеется.

В давнее время, которое именуется геологами плейстоценом, здесь вовсе бушевала стихия. Взрывные извержения поднимали ввысь и разносили вокруг большой объем пемзового материала; образовался огромный кратер. Позднее, уже в голоцене, внутри этого кратера в сравнительно спокойной обстановке рос молодой вулканический конус. Так продолжалось до позднего голоцена. А затем, как это бывало уже не один раз и с другими вулканами, произошла катастрофа: значительная часть была взорвана и образовалась впадина, или кратер, диаметром 1,6 км. В кратере постепенно выросло четыре экструживных купола. Самый высокий из них (1953 м) является вершиной вулкана Желтовского.

Потом наступили длительные каникулы вулкана. И если вначале он давал о себе знать вспышками, то позднее вовсе замолк, не подавая никаких признаков жизни. Так продолжалось почти 100 лет. И только в 1923 г. произошло небольшое взрывное извержение, которое оставило свидетеля в виде лавового потока андезитового состава. С тех пор прошло почти 50 лет. И вдруг в апреле 1972 г. совсем неожиданно над кратером вулкана появился столб пара и газов. Произошло лишь слабое взрывное извержение. В настоящее время он попухивает газами и паром, т. е. находится в фумарольной стадии. Что думает совершить вулкан Желтовский в дальнейшем, пока остается тайной.

### **Ильинский — собрат Желтовского**

Не торопясь, последуем дальше. Теперь мы оказались на берегу озера, которое могло бы украсить любую часть нашей планеты. Озеро Курильское. На восточном берегу

его и находится вулкан Ильинский. Нельзя пройти мимо правильного и красивого конуса, поднятого ввысь почти на полтора километра. В отличие от других вулканов конус Ильинского гладкий, словно отполированный. И только вершина его «срезана» взрывом в 1801 г.: здесь находится двойной кратер вулкана диаметром около 600 м и глубиной 200 м. Спустился ровно 100 лет после этого, в 1901 г., вулкан дал о себе знать сильными взрывными извержениями, но уже не из центрального, а из бокового кратера.

В этой группе вулканов наблюдается строгая закономерность: чем моложе продукты извержения, тем они кислее, т. е. более насыщены кремнеземом. Не является исключением и вулкан Ильинский. Основание его сложено базальтами, извержение которых относится к наиболее древнему времени. Конус вулкана появился позднее, и состав пород, которыми он сложен, заметно изменился, став более кислым — андезитовым. Еще более кислыми породами сложены экструживные купола, появившиеся сравнительно недавно.

Вулкан Ильинский в какой-то степени схож с Желтовским. Подобно последнему, он относится к типу «Сомма-Везувий». Конус Ильинского находится в обширной кальдере, кромка которой представляет внешнее обрамление конуса.

В настоящее время вулкан Ильинский тих и спокоен, лишь изредка дымят фумаролы да подогревается горячими источниками Курильское озеро.

### **Вулкан Кошелева**

Так он обозначается на карте и в перечне действующих вулканов. На самом же деле это целая группа вулканов, занимающая площадь около 130 км<sup>2</sup>. Это западный вулканический массив на юге Камчатки. Он расположен на берегу Охотского моря и в широтном направлении прослеживается в глубь полуострова до отрогов хр.

Камбального. Вулканический массив хорошо выделяется в рельефе. Он выше Ильинского почти на 300 м (1863 м) и лишь немного уступает Желтовскому.

Вулканический массив Кошелева не наделен красотой или своеобразием вулканической деятельности. Но он имеет достоинства, отсутствующие у других вулканов. Интересно отчетливое сочетание вулканических конусов, экструзивных куполов и субвулканических тел. Это очень ценный альянс построек, разных не только по составу, но и по своему происхождению, или генезису. В то же время весь этот комплекс свидетельствует о сложной и длительной истории, в процессе которой возникли магматические тела. В данном случае можно проследить эволюцию всех этих построек, соотношение их между собой и тем самым выяснить поведение магматического расплава в разных условиях. Особенно интересно наличие субвулканических тел, по которым можно проследить, как вы горные породы на разных глубинах и в каких условиях они образовались.

Вулканический массив Кошелева, как и расположенный вблизи Дикий Гребень, является важным объектом для расшифровки происхождения многочисленных выходов горячих источников и пароводяной смеси, которая используется теперь Паужетской геотермальной станцией. Некоторые исследователи, в том числе и большой знаток этого дела В. В. Аверьев, полагают, что горячие источники Паужетки и некоторых других мест в той или иной степени связаны с магматическими телами, сложными кислыми породами. Ими и будут упоминавшиеся экструзивные и субвулканические образования.

В целом вулканический массив состоит из пяти разнообразных вулканов: Древне-Кошелевского, Западно-Кошелевского, Валентина, Центрально-Кошелевского и Восточно-Кошелевского, образуя хребтообразное сооружение. Органически с вулканами сочетаются экструзии и субвулканические интрузивы.

Происхождение этого вулканического массива не представляет загадки. Он, как и многие другие, связан с глубинными разломами. Но здесь отчетливо выявляется связь с разломами, имеющими широтное направление, тогда как другие вулканы тяготеют к меридиональным разломам. Интересным представляется наличие более поздних кольцевых и радиальных разломов и трещин, поскольку к некоторым из них приурочены парогидротермы.

Предполагается (и не без основания), что периферический магматический очаг, подобно Авачинскому вулкану, залегает на небольшой глубине, что способствует образованию парогидротерм.

Точные даты извержения вулкана Кошелева не установлены. Предполагается, что последнее из них произошло в конце XVII столетия. Вулкан находится в сольфатарной стадии деятельности.

## Вулкан Камбальный

Вулкан замыкает собой меридиональный вулканический хребет, представляющий остатки древних вулканов. Это последний вулкан на юге Камчатки. Дальше пойдут береговые обрывы скал и пучины океана. Камбальный — один из наиболее высоких вулканов Южной группы. Правильный конус его поднят на высоту 2160 м. Он является как бы дозорным, южным стражем протяженного вулканического пояса Камчатки.

На вершине вулканического конуса находятся три кратерные впадины, расположенные ступенчато. Самая большая из них имеет размеры 300×200 м и глубину 100 м. На северном склоне конуса расположена циркообразная впадина, в которой и видны признаки жизни вулкана: здесь сосредоточены парогазовые фумарольные струи.

В вулканическом конусе наблюдается перемежаемость лавовых потоков и мелкодробленого вулканического материала,

Кроме фумарольной деятельности, вероятно недавно, уже в историческое время происходили вулканические извержения. Подтверждением такого предположения являются очень свежие вулканические продукты.

Вулкан Камбальный заслуживает внимания еще и потому, что вблизи него выходят ключи горячих вод, что может представлять значительный интерес как энергетический резерв.

На этом почти тысячекилометровый пояс действующих вулканов Камчатки кончается. Как можно видеть из приведенных сведений, не все они находятся в одинаковой стадии деятельности. Одни из них имеют яркие черты индивидуальности, с характерными типами извержений, жизнь других ограничивается фумарольной стадией, третьи в недавнем прошлом оглушали местность грохотом и освещали ее сверканьем молний, а теперь стоят спокойно и тихо, без намека на какое-либо пробуждение.

Но у нас остался еще один действующий вулкан Камчатки — Ичинский. Он находится далеко в стороне от других вулканов, и судьба уготовила ему одиночество. Он один, но тем не менее находится в общем строю с действующими вулканами.

## Один в поле. Но воин

Как правило, действующие вулканы расположены группами, как бы подстраховывая друг друга в своих действиях. Ичинский же вулкан удален от своих активно действующих собратьев на многие десятки километров, обитая в Срединном хребте Камчатки, в верховьях рек Ичи, Морошки, Быстрой Хайрюзовской. В Срединном хребте огромное количество вулканов. По данным Н. В. Огородова и Н. Н. Кожемяка, здесь, кроме Ичинского, насчитывается 114 вулканов. Они когда-то были сильными и деятельными. Нередко случались и катастрофические из-

вержения. Но, оказалось, присущая им неукротимая сила все же иссякла. Вулканы уже давно ушли на покой, прекратили активную деятельность и покорно подставляют свои вершины дождю, снегу да неистовым ветрам. А Ичинский не сдается, деятельность его продолжается.

Этот единственный действующий вулкан на огромном пространстве Срединного хребта является и красивейшим из них. Его нельзя спутать ни с каким вулканом, он самый высокий среди них (высота его 3631 м), уступая только лидеру камчатских вулканов — Ключевской сопке. Вулкан особенно хорошо заметен по своему «головному убору» — ледяной шапке, достигшей заоблачных высот. Он является также одним из крупных центров современного оледенения Камчатки. Велика и площадь, занятая вулканом — 560 км<sup>2</sup>. Невероятным кажется объем вулканических продуктов, поступивших на поверхность во время извержения Ичинского вулкана, — 450 км<sup>3</sup>!

Вулкан Ичинский — типичный стратовулкан, сложенный лавовыми потоками, переслаивающимися с обломочным материалом. Горные породы в нем отличаются довольно кислым составом: это андезиты, андезито-дациты и дациты. А вот история образования вулкана не совсем обычна и не схожа с развитием других вулканов. Все началось с излияния очень подвижных базальтовых и андезито-базальтовых лав. Они образовали щитовую, напоминающую вытянутый эллипс, постройку диаметром около 20 км. Несколькими позднее к этим базальтам и андезито-базальтам стали примешиваться лавы (а также мелкодробленый материал), более насыщенные кремнеземом, значительно кислее прежних, а значит, и более вязкие. Поэтому щитовая постройка начала постепенно превращаться в конусовидную гору, или стратовулкан. Далее, как показывают наблюдения вулканологов Т. Ю. Марениной, Н. В. Огородова и других, прежде чем вулкан обрел современный вид, он прошел несколько стадий в своем развитии. Вначале образовался пологий щитообразный вулкан. В ре-

зультате взрывных извержений верхние части его были снесены и осталась пологая впадина, похожая на обширный кратер, или кальдеру. В дальнейшем в северной части этой впадины стал расти вулканический конус. А спустя еще некоторое время начал подниматься вершинный конус и в южной части впадины. Впоследствии склоны этих вулканических конусов по кольцевому разлому были прорваны экструзиями, от которых спустились короткие потоки кислых лав.

В настоящее время мы видим остатки древнего вулкана, два вулканических конуса, экструзивные тела вокруг них, короткие лавовые потоки; у подножия древнего вулкана видны молодые шлаковые конусы.

Ичинский вулкан относится к сомма-вулкану. Но старая постройка, остатки древнего конуса выражены у него не так отчетливо, как у других вулканов.

Необычайно эффектны у Ичинского вулкана скалистые гребни, достигающие трехкилометровой высоты. Они расположены севернее вершинного конуса. Не исключено, что это тоже остатки соммы.

Для Ичинского вулкана характерны экструзии. Их здесь много, и они разные по возрасту и составу. Выделяются древние экструзивные тела, прорывающие в подножиях вулкана еще более древнее андезито-базальтовое плато, и молодые, опоясывающие непрерывным кольцом конус вулкана. Породы некоторых экструзий весьма насыщены кремнеземом (до 73%) и относятся к дацитам и липарито-дацитам.

Ичинский вулкан сравнительно молодой. Он начал формироваться каких-нибудь 10—15 тыс. лет тому назад, а отдельные вспышки его происходили уже в историческое время. Теперь уже вулкан выделяет только фумарольные струи. Одна из фумарол расположена на северо-восточном склоне вулкана в небольшой котловине, а другая — в обширном распадке на том же склоне. Температура их около 90°C. Фумарольные струи содержат 98%

паров воды, а также азот, кислород, углекислый газ и сероводород. У выхода струй видны отложения серы.

Грозная сила Ичинского вулкана миновала. Но он постоянно выделяет пар и газы, которые в виде небольшого облака поднимаются иногда на высоту до 250 м.

Ичинский — действительно последний действующий вулкан Камчатки. В колонке вулканов он стоит 28-м, но не он передает эстафету Курильским вулканам. Это делает вулкан Камбальный, который расположен ближе других и часто приветствует их вспышками фумарольных струй.

Вулканы Курильской островной дуги нами не затрагиваются. Но есть один вулкан — Алаид, который находится в море и представляет значительный интерес как островной вулкан.

## Вулкан Алаид

Могут возразить, ведь Алаид относится к Курильской островной дуге. Так-то оно так. А помните легенду?

Ведь когда-то Алаид вынужден был уйти из пределов Камчатки, однако оставил там свое сердце. Красивая скала — Сердце Алаида — находится в Курильском озере и теперь.

Но интересна о нем не только легенда. Любопытны извержения Алаида, в том числе и то, которое произошло в 1972 г. Последуем к самой южной точке Камчатки — мысу Лопатка, преодолеем Первый Курильский пролив, и перед нами — о. Шумшу. От него уже рукой подать до Алаида — каких-нибудь полсотни километров. Такого вулкана мы еще не видели. Да и не часто такие встречаются. У него собственные владения, ведь это вулкан-остров площадью 158 км<sup>2</sup>. Если вулкан Стромболи постоянным парением служит своеобразным маяком в Средиземном море, то вулкан Алаид — в Охотском; он представляет монументальное сооружение, видимое за многие десятки километров лучше всякого маяка. Одна только верши-



на Алаида возвышается над морем на 2339 м, да еще часть вулкана, без малого 700 м, находится в воде (все-го около 3000 м над дном моря). Это самый высокий вулкан Курильской островной дуги.

Алаид имеет почти правильный, красивый, хотя и сильно усеченный конус. Особенно вулкан великолепен с северной стороны, где он полностью сохранил свою форму. С южной стороны осталась лишь кромка древнего кратера (вероятно, это результат мощного направленного взрыва) и видна широкая и глубокая депрессия.

Склоны вулкана покрыты рыхлыми отложениями (шлаками, бомбами, лапилли) и выделяются розоватой окраской. Такая окраска объясняется тем, что вулканические продукты, выброшенные в раскаленном состоянии, оставались горячими так долго, что успели произойти процессы окисления соединений железа (переход закисного в окисное —  $4\text{FeO} + \text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Г. С. Горшков\*, много лет изучавший вулканы Курильских островов, указывает на своеобразную жизнь Алаида. Активность вулкана отмечается с конца XVII в., т. е. с момента открытия Курильских островов русскими землепроходцами. В 30—40-е годы XVIII в. вулкан проявлял фумарольную деятельность и только в 1790 г. наблюдались пепловые выбросы, а в феврале 1793 г. произошло сильное извержение, в результате которого на Южной Камчатке, в 120 км от центра извержения, выпал слой пепла мощностью до 10 см. Затем наступила пауза, продолжавшаяся 40 лет.

Наиболее интересное извержение было в 1933—1934 гг., когда в море возник побочный кратер Такетомии. Это было, по существу, рождение нового вулкана. Начало подводного извержения относится к 17 ноября 1933 г. Оно было замечено жителями о. Шумшу. А спустя почти

\* Горшков Г. С. Вулканы Курильских островов. М., «Наука», 1969.

три месяца, 14 января 1934 г., в четырехстах метрах восточнее Алаида над водой уже был виден маленький островок. В апреле того же года высота конуса достигла 130 м, а в июне — 145 м, диаметр конуса над уровнем воды был равен 800 м. К августу 1934 г. извержение прекратилось и конус стал быстро разрушаться морскими волнами. Рыхлый материал переотлагался, им были образованы две песчаные косы. Зимой 1935/1936 г. восточная коса достигла Алаида, превратив Такетомии в полуостров. В конце 1946 г. Такетомии причленился к Алаиду еще одной косой. Но потом эта коса была прорвана и образовалась небольшая бухта.

Как видите, Алаид «присоединил» к себе небольшую (около 0,5 км<sup>2</sup>) территорию, островок стал частью его, и теперь вулкан находится чуть ближе к Камчатке.

С тех пор Алаид был тих и спокоен. И вдруг в июне 1972 г. взрывные извержения стали выбрасывать большое количество мелкодробленного вулканического материала, черная туча взмыла на 8-километровую высоту. Как отмечают Г. П. Авдейко и другие, извержение происходило как из подводных, так и наземных боковых (или паразитных) кратеров. Как было потом уточнено, извержение началось ночью 18 июня.

Извержение, как это нередко бывает, началось взрывом, материал его разносился на большие расстояния. 19 июня пепел уже выпадал в 110—120 км от центра извержения (в районе Паужетки), причем на каждый квадратный метр площади приходилось 25 г пепла. Несколько позднее появились лавовые потоки. Из некоторых воронок выбрасывались фонтаны кипящего камня, которые можно сравнить с гигантским фейерверком. Фонтаны выбрасывались на высоту 160—200 м с необычной частотой — через каждые 1—2 с.

Извержение продолжалось около трех месяцев. Как и в предыдущий раз, оно прирастило территорию острова-вулкана почти на целый квадратный километр, на сей раз

с западной стороны. Из глубоких недр на поверхность поступило 45 млн. м<sup>3</sup> вулканических продуктов.

Вулканологов не удивились извержениями. Они на Камчатке — не редкость. Любое извержение вулканов представляет большой интерес. Встреча с Плутоном всегда желанна. Но это извержение было особенным, и его очень ждали. Дело в том, что здесь стихия царства Плутона — подземного огня — сталкивается с пучинами Нептуна — владыки морей. Такое извержение нашими вулканологами наблюдалось впервые. Взаимодействие изверженного материала с морской водой — явление необычное.

Большой интерес представляют здесь вулканические землетрясения как предвестники извержений.

В местах выхода вулканических газов в них отмечаются различные минералы, содержащие такие компоненты, как свинец, олово, цинк, медь, серебро и другие, а также большое количество серы. Важно также было проследить динамику извержений, температурный режим изливающихся лав, состав газообразных продуктов и многое другое.

Вот почему этому извержению придается важное значение. Вулканологи и геофизики наблюдали извержение вулкана Алаид непосредственно на месте, а вулканические продукты его тщательно изучаются.

При пароксизмальных, т. е. наиболее сильных вулканических извержениях, Плутон показывает всю свою мощь, поднимая в воздух и рассеивая на поверхности Земли многокилометровые толщи вулканических построек. Не оставляет он в покое и прилегающие к вулкану места.

В некоторых случаях образуются целые горные хребты протяженностью в десятки километров. Пласты осадочной толщи вздымаются на сотни метров и сминаются в многокилометровые складки по протяжению.

В некоторых местах это происходит чрезвычайно эффектно.

Наглядным примером может служить извержение вулкана Усу на о. Хоккайдо в Японии. Как сообщают Т. Минаками, Т. Ишикава и К. Яги, этот вулкан не проявлял никакой деятельности с 1910 г. Но, начиная с 28 декабря 1943 г. и по октябрь 1945 г., здесь произошли события, в результате которых образовалась новая гора Шова-Шинзан (Showa-Shinzan). Вначале стала воздыматься местность, сложенная лавами и пирокластическим материалом предыдущих извержений. В общей сложности она была приподнята на 170—200 м с диаметром основания куполовидного поднятия 800—1000 м. В дальнейшем это поднятие, дробленное на блоки, почти по центру было прорвано. Затем отсюда стала выжиматься гора изометричной формы с диаметром основания 250—300 м, до-

стигшая высоты 150 м. Гора (типа экструзивного купола) сложена кислой дацитового состава породой. Таким образом, общий подъем оценивается в 350 м.

Наблюдение над этим столь ярко выраженным извержением, в результате которого была приподнята местность на такую высоту, с научной точки зрения имеет большое значение, представляя собой яркую иллюстрацию образования купола в сочетании с поднятием окружающей местности. Сводное поднятие над одним из современных куполов отмечается Е. К. Мархининым на о. Кунашир (Курильская гряда). Подобные явления известны во многих других местах.

Во всех случаях расплав выжимается с огромной силой, отчего нередко окружающая местность лопается и дробится на мелкие блоки. Формы проявления вулканической деятельности в этот период довольно своеобразны. О них мы кратко и расскажем. Речь идет главным образом об образовании экструзивных куполов, шлаковых конусов и даек.

Вначале о первых из них.

## Экструзивные купола

При взрывных извержениях уничтожается конус вулкана, спустя некоторое время на его месте появляется другой. Он постепенно выжимается с глубин, и вулкан как бы стремится восстановить свои потери, зализывает раны, нанесенные разрушением, главным образом при катастрофических извержениях. Так было на Шивелуче, Безымянном и некоторых других вулканах Камчатки. Но нередко от жерла вулкана по трещинам и другими путями, словно щупальца спрута, ответвляется вязкий расплав. Он выжимается к поверхности Земли, образуя поднятия разной формы и размера.

Общезвестно, что образование куполовидных выступов, или экструзий, которые создаются на заключитель-

ном этапе вулканической деятельности, обусловлено прежде всего составом первоначального магматического расплава: чем он кислее, тем большей вязкостью обладает и тем более компактно выжимается к поверхности, образуя нередко купола правильной изометричной формы.

Бывают и другие случаи. На том же Ключевском долу Камчатки отмечаются в нескольких местах вздутия, причиной которых служили расплавы базальтов и андезито-базальтов.

Однако вернемся к наиболее выразительным экструзиям некоторых вулканов.

Характерен в этом отношении купол вулкана Мон-Пеле. Купол начал расти после катастрофического извержения вулкана в 1902 г. и достиг почти четырехсотметровой высоты, но был разрушен извержением, которое произошло в 1905 г.

Не уступают ему в этом отношении и купола вулканов Камчатки. Очень эффектным было появление экструзивных куполов на вулкане Шивелуч, особенно купола Суелич в 1946 г. Купол рос быстро и уже к концу сентября того же года был почти равен обелиску Мон-Пеле — около 400 м. Но он продолжал выжиматься и через два года высота его достигла 600 м. Рос купол неравномерно, отдельные части в виде скалистых утесов и других форм возвышались над его поверхностью на многие десятки метров. Размеры купола тоже внушительны: диаметр основания около 1 км, вершины — до 0,5 км. Купол постигла та же судьба, что и экструзию вулкана Мон-Пеле: он разрушен при катастрофическом извержении вулкана Шивелуч в 1964 г.

Многим известен купол Нового вулкана Безымянного. Он начал расти на месте взорванного после памятного катастрофического извержения в 1956 г. В настоящее время высота купола с учетом отдельно выжатых блоков превышает 500 м. Подобно другим куполам, в процессе роста он постепенно разрушается, происходит обруше-

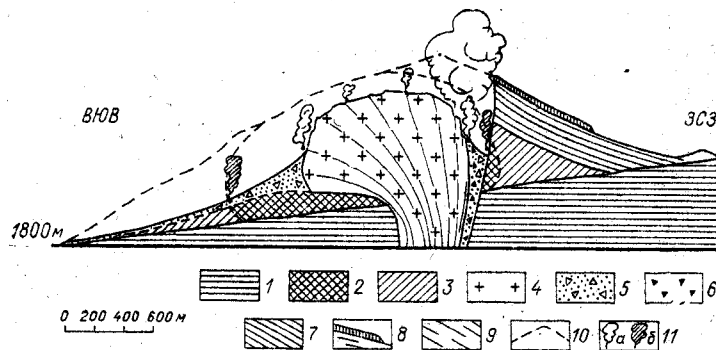


Рис. 7. Купол Новый вулкана Безымянного (по О. Г. Борисову и В. Н. Борисовой).

1 — фундамент; 2 — остатки старого купола; 3 — брекчия разрушенного старого купола; 4 — молодой растущий купол; 5 — осыпная брекчия молодого купола; 6 — современная брекчия взрывов; 7 — стратовулкан; 8 — лавовый поток; 9 — трещины блоковых подвижек в теле купола; 10 — контур вулкана до извержения; 11 — фумаролы: а — в куполе вулкана, б — в осыпной брекчии.

ние, и раскаленные глыбы скатываются вниз (рис. 7).

В Ключевской группе вулканов можно отметить и другие экстрוזии. Наиболее характерны те из них, которые имеют в плане округлые очертания, причем можно отметить в общем случае три разновидности, а именно: выжатые монолиты, в которых отмечается равенство диаметра подводящего канала и выступающего на поверхность купола; с превосходством купола над подводящим каналом вследствие растекания на поверхности выжатого расплава; веерообразная поверхность куполов экстрוזий, также превышающая диаметр подводящего канала.

Если последовать к западу и юго-западу от вулканов Безымянного и Камень (Ключевская группа вулканов), то можно попасть к большой и очень интересной группе экстрוזий, получившей название «Плотина». Еще издали видна необычайная текстура (внешний облик) пород, как будто здесь сложены громадные штабеля поленьев.

В обрывистых бортах они прослеживаются на сотни метров по протяжению и на десятки метров в высоту. Такая текстура получила название «поленницы». Сходство с поленьями и в самом деле большое. А все это образовано при остывании вязкого расплава вблизи поверхности.

В некоторых местах привлекают внимание экстрозивные купола с торчащей на них, словно огромные спицы, столбчатой отдельностью. Такое впечатление усиливается еще и потому, что эти столбы строго вертикальны (перпендикулярны) к поверхности хорошо сохранившихся куполов. Своеобразные поднятия пластов осадочной толщи вокруг куполов теперь уже разрушены, а остатки их торчат вокруг, словно поломанный дырявый забор.

Такая правильная куполовидная форма экстрозий свидетельствует о том, что подводящий канал имел округлую (цилиндрическую) форму и был направлен вертикально к поверхности. Но так бывает далеко не всегда. По мере наклона подводящего канала к поверхности очертания экстрозии в плане будут меняться, приобретая форму эллипса или вытянутого выступа. Подобным примером может служить великолепно отпрепарированная экстрозия Верблюд в Авачинской группе вулканов.

Характерны некоторые экстрозивные купола кальдеры Узон. Весьма своеобразные экстрозивные тела можно наблюдать вблизи вулкана Мутновского. Одна из экстрозий с отчетливо выступающей скалистой вершиной, являющейся хорошим ориентиром в этих местах, находится на правом берегу рч. Освистанной. Но особенно эффектно экстрозии Двугорбая и Скалистая. Первая из них представлена протяженным хребтом с двумя возвышающимися вершинами — «горбами». Одна из вершин имеет сравнительно пологую куполовидную форму, другая — громадные скалистые выступы, расчлененные трещинами по вертикали. Детали самой вершины экстрозии видны по скалистым обнажениям.

Скалистые, местами обрывистые обнажения позволяют проследить строение экструзии от подножия до самой вершины. Можно отметить, что порода, слагающая экструзию, по внешнему виду не везде одинакова. Ближе к подножию она более кристаллична, а к поверхности становится почти монолитной, со значительным количеством стекловатой массы.

Столь же, если не в большей степени, эффектна экструзия Скалистая, расположенная севернее Двугорбой. Скалистые обелиски ее вершины взметнулись вверх на десятки метров. Можно заметить, что эта экструзия была образована в два приема, хотя состав пород очень близок. Для пород экструзии характерна почти вертикальная столбчатая отдельность. Видны и горизонтально лежащие столбы. Разбитые поперечными трещинами на отдельные блоки, они издали напоминают кирпичную кладку стен.

## Шлаковые конусы

По характеру становления и происхождению они представляют собой небольшие вулканы. Местами сквозь разорванную корку просачивается небольшой поток лавы. Такие конусы сложены очень пористыми базальтовыми породами, которые называются шлаками. По данным А. Н. Сирина\*, только на Ключевском долу Камчатки насчитывается более 300 хорошо сохранившихся шлаковых конусов. Если учесть шлаковые конусы в малоизученных местах, а также разрушенные, то количество их возрастает примерно в полтора раза. Шлаковых конусов здесь так много, что ими во многом определяются особенности рельефа местности. Все они сгруппированы в линейные и концентрические зоны, имеющие северо-восточное направление (рис. 8).

\* Сирин А. Н. О соотношении центрального и ареального вулканизма. М., «Наука», 1968.

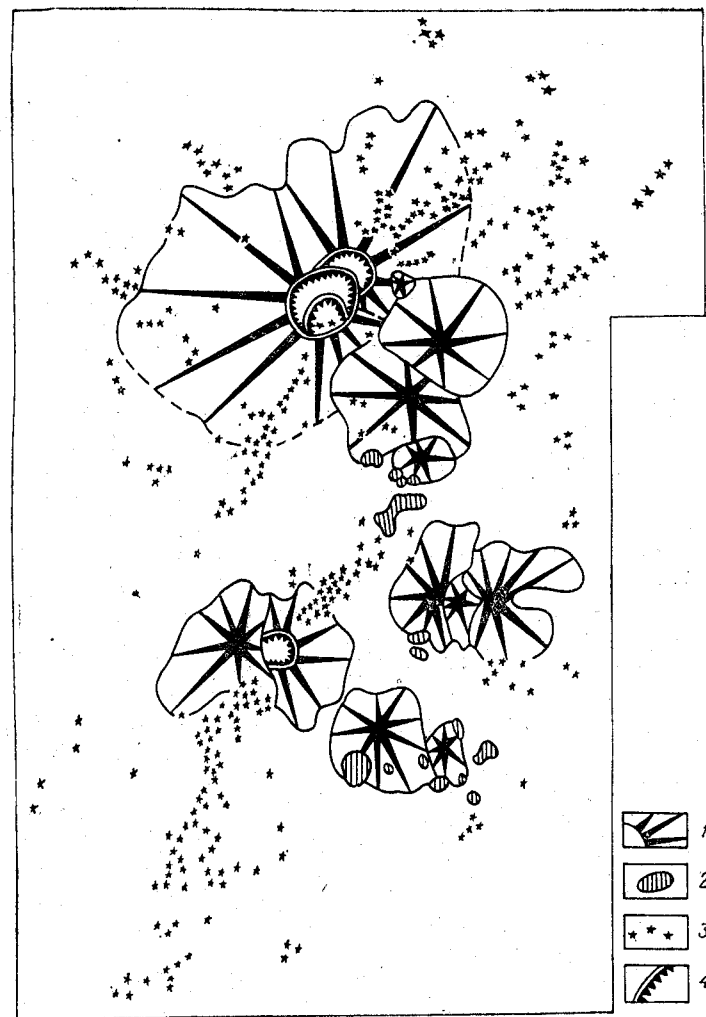


Рис. 8. Расположение шлаковых конусов Ключевского дола (по А. Н. Сирию, 1968).

1 — вулканы, 2 — экструзии, 3 — шлаковые конусы, 4 — кальдеры.

Выделяются две разновидности шлаковых конусов на Ключевском долу: одни из них связаны с вулканами центрального типа, образование других обусловлено тектоническими нарушениями, и непосредственная связь их с вулканами отсутствует.

Как же были созданы все эти конусы?

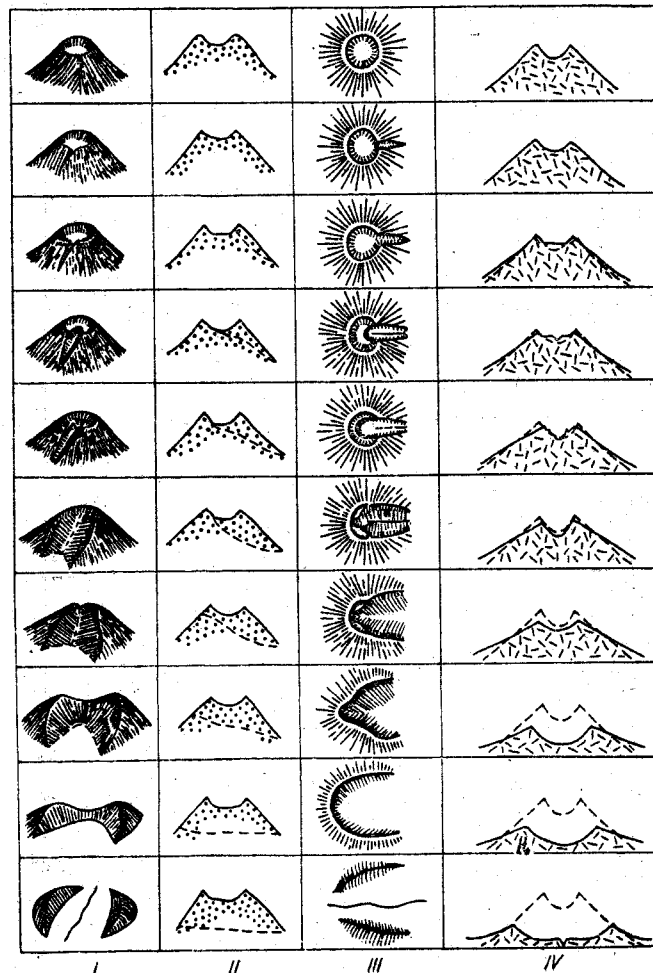
Образование шлаковых конусов обусловлено главным образом взрывными (эксплозивными) извержениями из побочных, или паразитных, кратеров вулканов. В связи с этим вулканические продукты, слагающие шлаковые конусы, состоят преимущественно из рыхлого обломочного материала, в разной степени уплотненного (он может быть спекшимся или рыхлым), и из лавовых потоков.

Детальные исследования шлаковых конусов Ключевского дола показали, что среди них в зависимости от характера извержений можно выделить несколько типов: просто рыхлые конусы, конусы со стержнем спекания, конусы с лавовым стержнем.

Образование первых из них происходит при непродолжительном и интенсивном эксплозивном процессе, когда расплав не достигает поверхности, а происходит разбрасывание хлопьев на значительное расстояние от места извержения, т. е. кратера. Поэтому изверженные продукты остаются рыхлыми и только в прижерловой части заметно частичное спекание их. Второй тип конусов формируется при более длительном, но менее интенсивном извержении. Стержень конуса образуется в ходе извержения при спекании еще полужидкой лавы, а затем продол-

Рис. 9. Расчленение рыхлых шлаковых конусов и постепенное разрушение их (по А. Н. Сирину).

I — общий вид; II — разрез в плоскости главного эрозионного веза (показано штрихом); III — план; IV — разрез в плоскости, перпендикулярной к главному эрозионному везу (первоначальная форма конуса показана штрихом),

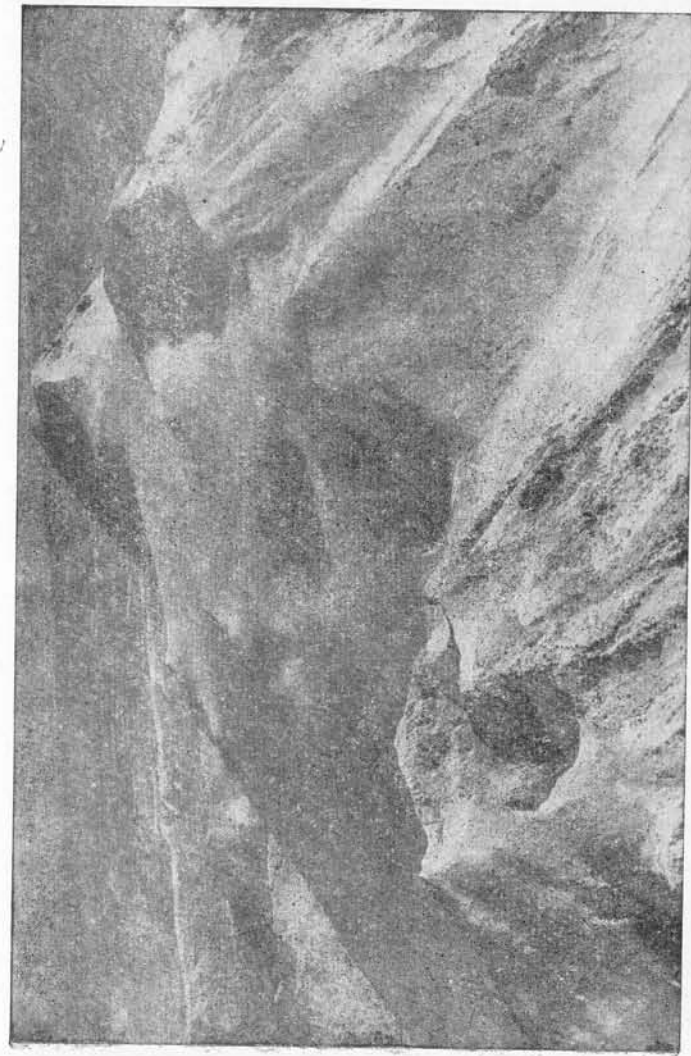




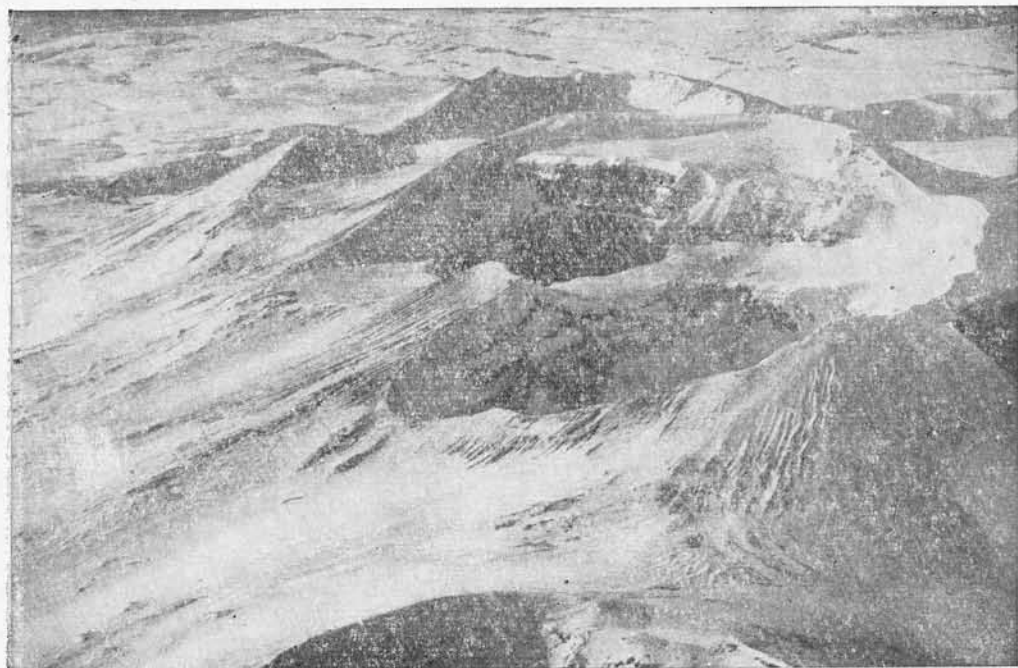
жают наращиваться за счет осыпающихся шлаков при воздействии на них высокотемпературных вулканических газов. Наконец, шлаковые конусы с лавовым стержнем образуются при таком извержении, когда расплав находится на уровне дна кратера. Выбрасываемые хлопья расплава падают на внутренние стенки кратера и, находясь еще в полужидком состоянии, спекаются. Затем они постепенно отвердевают, образуя лавовый стержень.

Характерную черту почти всех шлаковых конусов составляет их окраска. Она часто охристо-красного цвета, как следствие окислительных процессов, и заметна с большого расстояния. В данном случае происходит окисление железа — переход его из закисного в окисное. Этот процесс в какой-то мере напоминает обыкновенную ржавчину на железных предметах, зависящую от внешних факторов и в первую очередь от кислорода атмосферы. Изменение соотношений между закисным и окисным железом окрашивает внешнюю корочку пород в красный или охристый цвет. Более глубокому проникновению окраски в породы шлаковых конусов способствует наличие в них обильной пористости или газовых полостей, а также трещиноватости. Но непременным условием для начальной стадии процесса является относительно высокая температура. Как известно, она в шлаковых конусах сохраняется длительное время (многие месяцы и даже годы). А затем окисление продолжается уже при низких температурах.

Шлаковые конусы не остаются постоянными. Эрозионные процессы постепенно разрушают их. Как это происходит, показано на примере эрозионного расчленения рыхлых шлаковых конусов — от начальной стадии образования конуса до почти полного исчезновения (рис. 9).



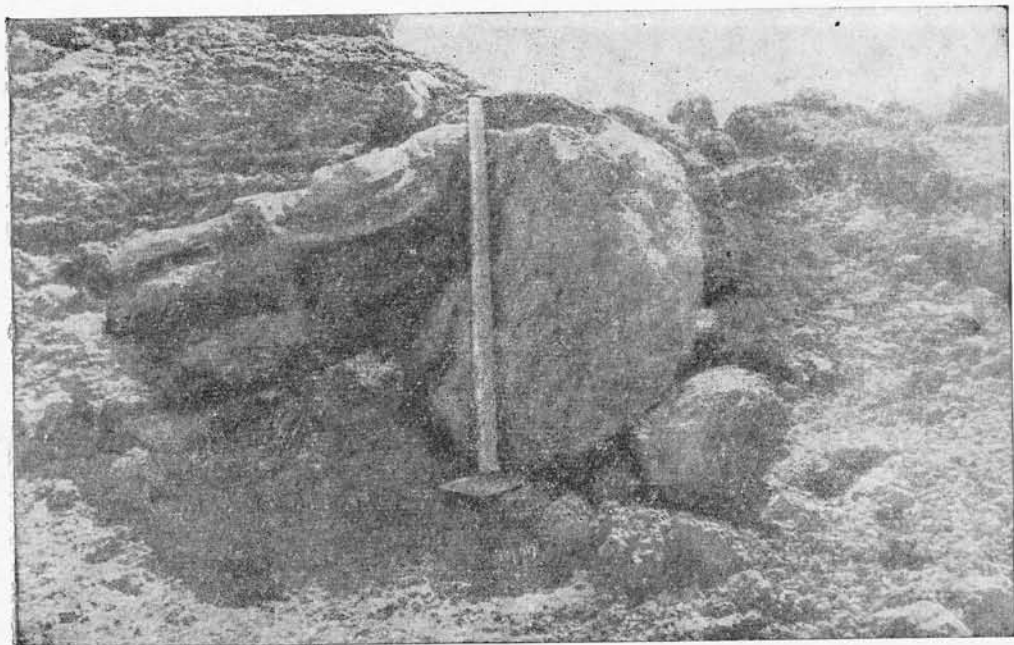
Впечатляющий, хотя и молчаливый, протяженный массив двух дружных соседей — вулканов Жупановского и Деэнзур.



Вулкан Горелый. Вид сверху.



Одно из кратерных озер вулкана Горелого.



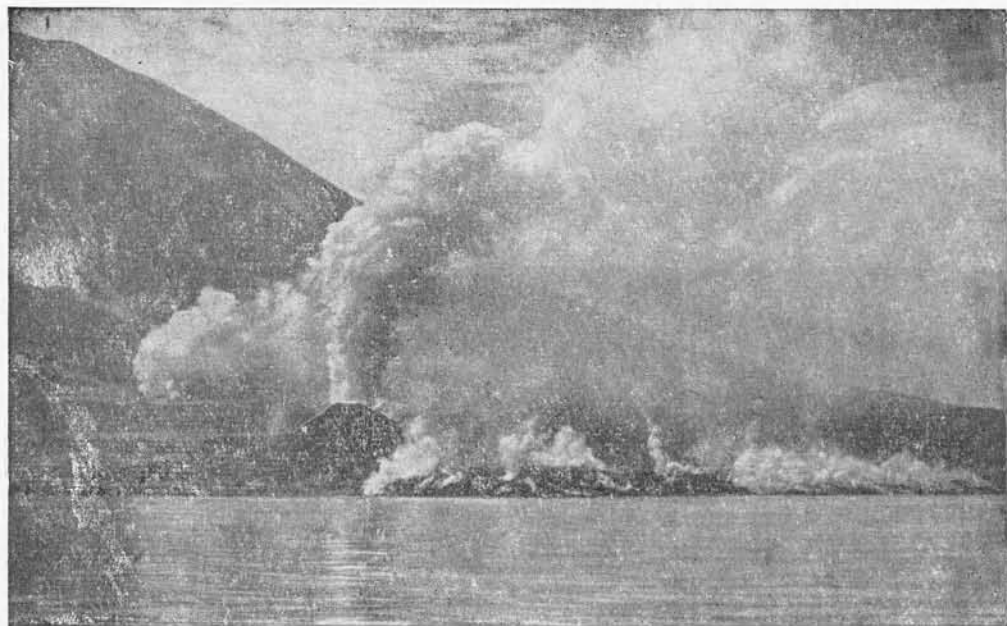
Крупная вулканическая бомба, выброшенная при извержении вулкана Горелого.



Вулкан (кальдера) Ксудач.

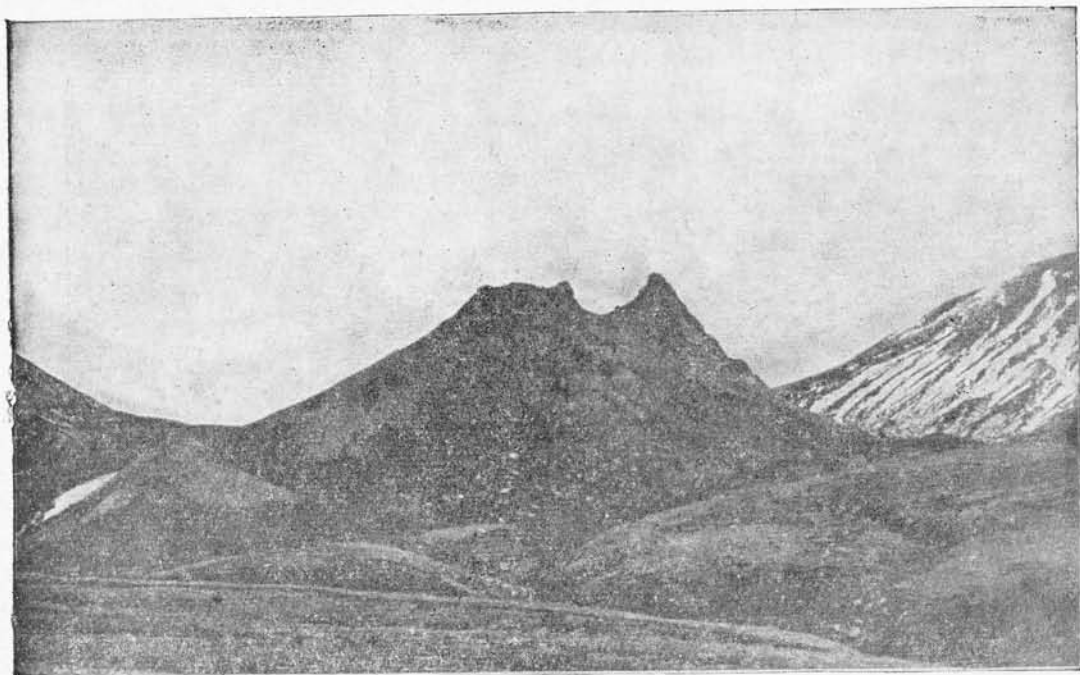


Жемчужина Камчатки — озеро Курильское. Вдали — «отполированный» конус вулкана Ильинского подножие которого омывается волнами озера. На переднем плане — остроконечная скала — Сердце Алаида.

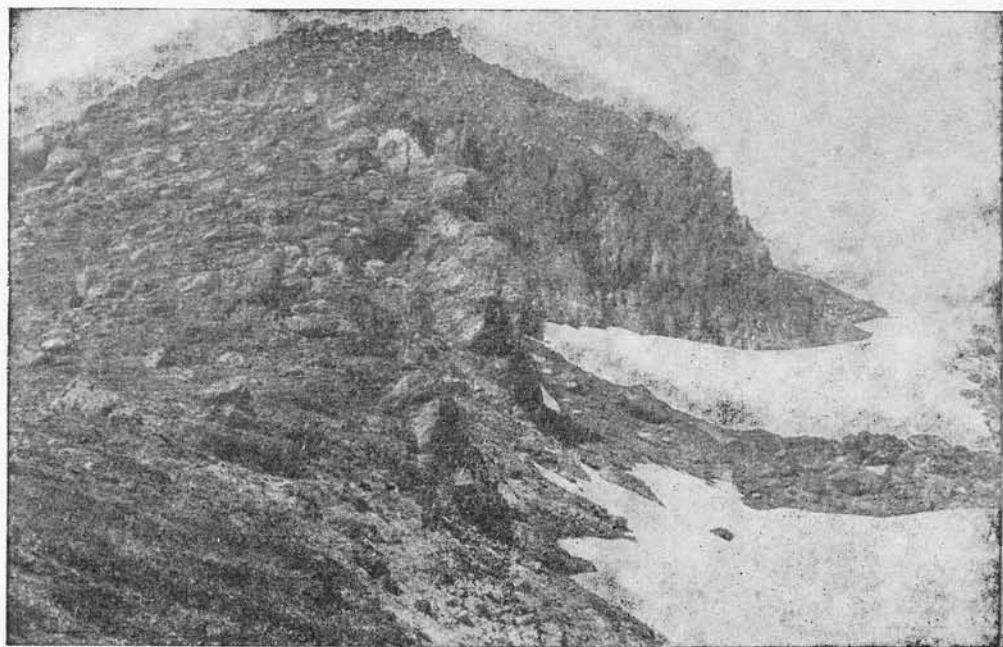


Вулкан Алайд (извержение в июне 1972 г.). На переднем плане справа видна белая «лапа» — впадение излившегося потока в океан.

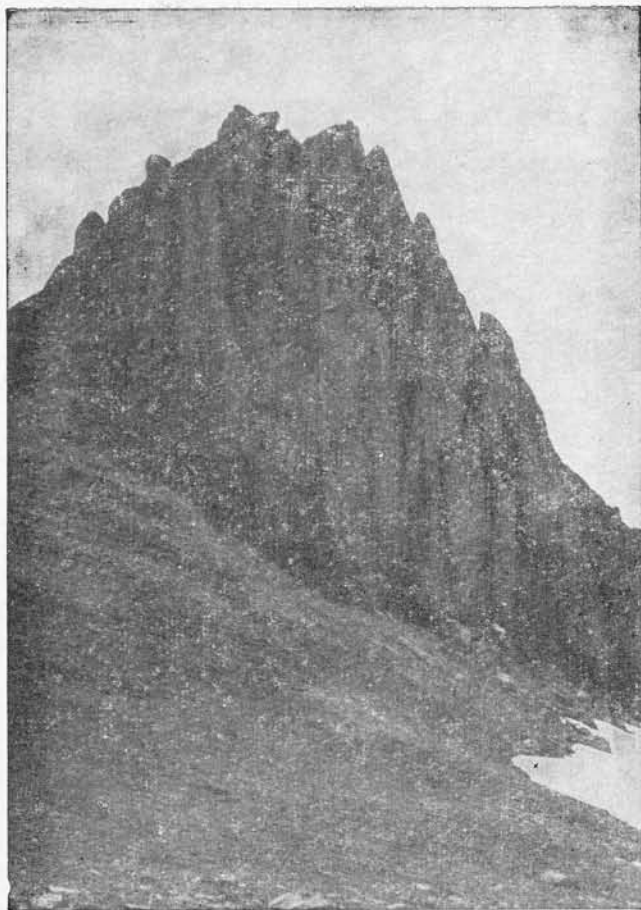




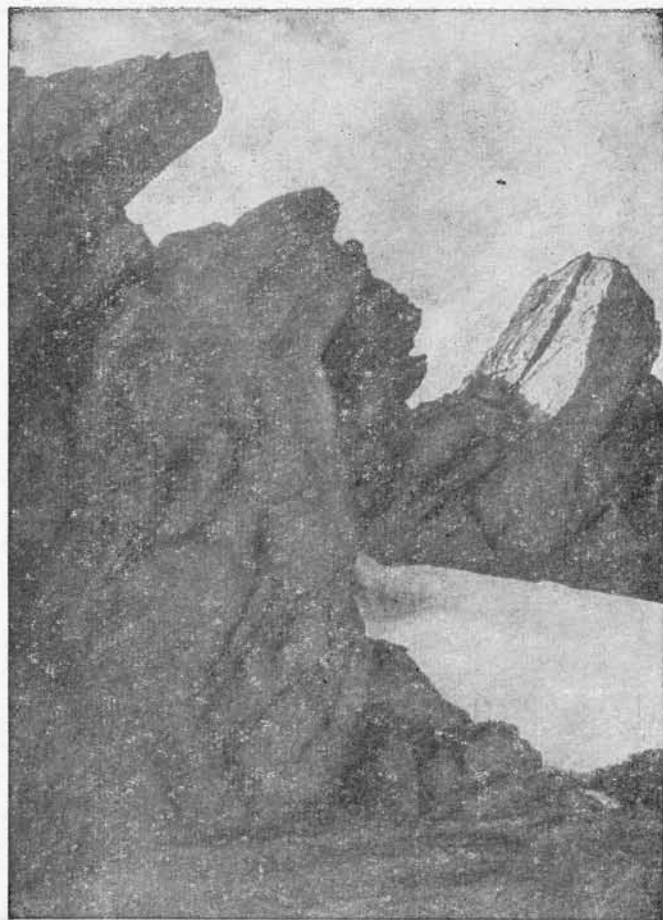
Своеобразный экструзивный купол Верблюд между вулканами Авача и Коряка.



Пологий куполовидный выступ экструзии Двугорбой вблизи Мутновского.

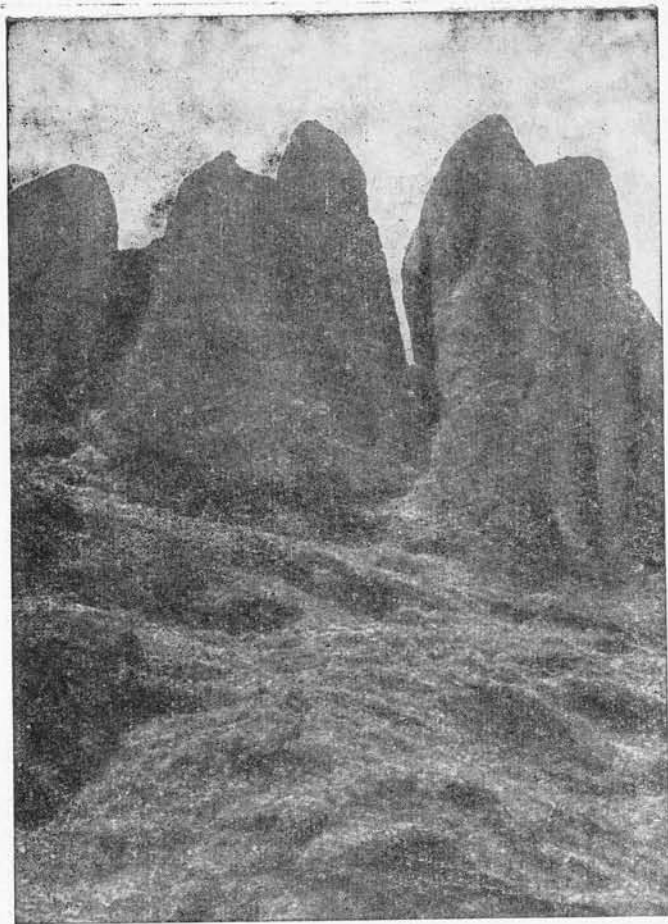


Зубчатый купол экструзии Двугорбой.

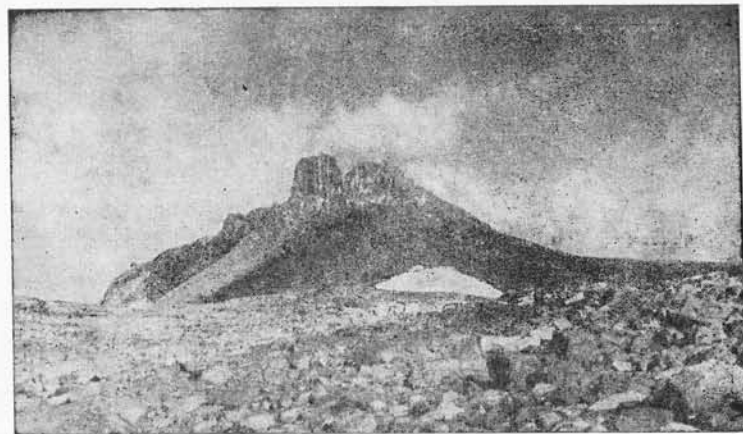


«Пасть Дракона» — деталь вершины экструзии Двугорбой.

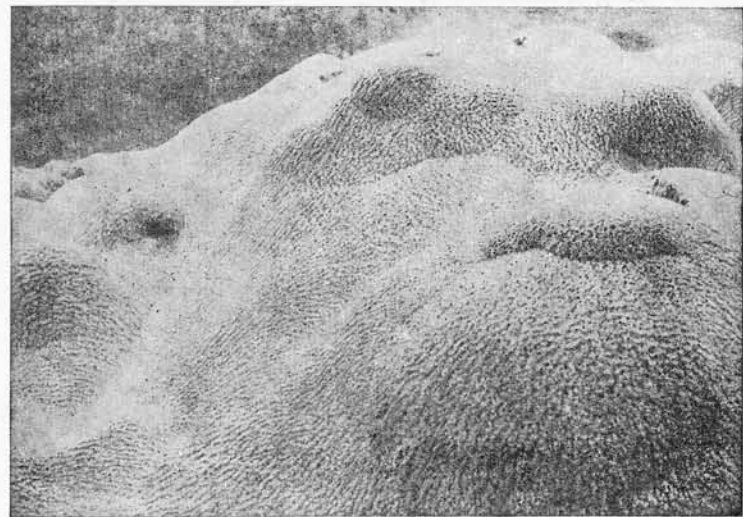




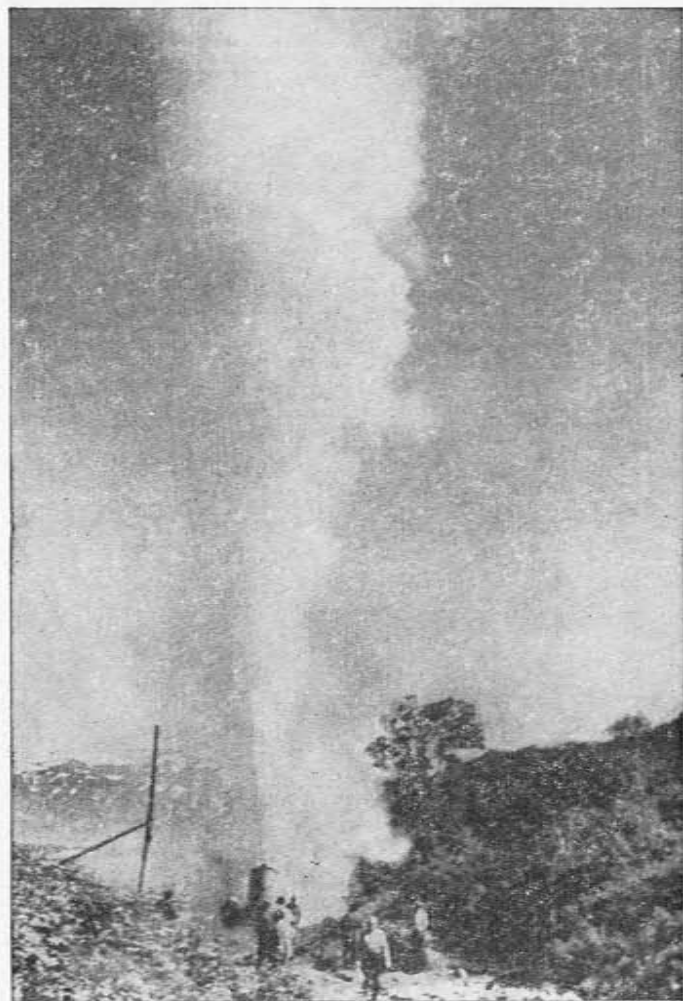
Вершина экструзии Скалистой (деталь).



Экструзия Скалистая (севернее вулкана Мутновского).



Гейзерит (кремнистые отложения) Долины Гейзеров (размер объекта 1 м по длинной стороне фотоснимка).



Фонтанирование пароводяной смеси из скважины (Паужет-  
ские гидротермы).



Дайки-обелиски, отпрепарированные временем.



Грязевой микровулкан в кальдере Узон.

## Вулканические дайки

На обрывистом склоне вулканического конуса видны самые различные узоры: прямолинейные, с причудливыми изгибами, петлеобразные, в форме клинка и т. д. В других местах с некоторым допущением в них можно увидеть мифические фигуры. А вот в обрыве виден виток, напоминающий огромную змею, которая приготовилась нанести удар.

Все это дайки вулканического происхождения. Они являются неотъемлемой частью вулканов. Такие дайки образуются в результате заполнения самых разнообразных трещин в конусе вулкана, кальдере либо иных вулканических постройках.

Трещины нередко располагаются радиально по отношению к жерлу вулкана. При повторном извержении вулкана расплав залечивает образовавшиеся ранее трещины. В конечном счете получаются радиально расположенные дайки, соответствующие поздним этапам вулканической деятельности. Такие дайки, как правило, небольшой мощности (не более 10 м), да и протяженность их не столь велика (не превышает нескольких сот метров).

Некоторые дайки неразрывно связаны с лавовыми потоками. Когда последние изливаются и передвигаются по склону конуса вулкана, либо по наклонной местности, расплавом заполняются всевозможные трещины и впадины. Впоследствии, когда пройдет какое-то время, эти места

разрушаются речными потоками или по иным причинам; тогда-то и можно будет видеть пальцеобразные, корытообразные и другие формы даек.

Бывают еще дайки кольцевые. Они появляются в том случае, когда вокруг конуса вулкана или по границе кальдеры образуется ослабленная зона — кольцевая трещина, или разлом. Они заполняются расплавом (он вдавливаясь в них) и получается кольцевая дайка. Эти дайки имеют уже значительную протяженность, измеряемую первым десятком километров, иногда и больше.

Случается и так, что в конусе вулкана или в его подпожии в силу каких-то причин образуется протяженная трещина. В момент оживления вулканической деятельности она заполняется вязким магматическим расплавом, и дайка готова. Иногда дайки, внедрившиеся в разное время, пересекают одна другую. Встречаются дайки, правда, не вулканического происхождения, протяженность которых кажется невероятной. Например, дайка Родезии в Африке прослеживается в длину на 500 км.

Часто можно видеть, как расплав, выжимаясь по трещине, увлекает за собой небольшой чехол боковых вмещающих пород. Это явление великолепно демонстрирует образование даек.

И еще один пример. На вулкане Шивелуч видна прекрасная отпрепарированность некоторых даек. Дайки более плотные, чем окружающие породы, поэтому они медленнее разрушаются. Вот почему мы имеем возмож-

ность наблюдать скалистые обелиски такой хорошей сохранности.

Экструзивные купола, шлаковые конусы и дайковые тела в данном случае образуются из того же магматического расплава, что и сами вулканы, и являются составной частью этих вулканов.



## **КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНОВ. МОЖНО ЛИ ПРЕДСКАЗАТЬ ИХ?**



Катастрофические вулканические извержения уничтожают города, превращают громадные просторы в настоящие пустыни. Гибнут люди. Сотни. Тысячи. Десятки тысяч. Только во время одного извержения вулкана.

Так, в результате извержения Везувия в Италии в 79 г. н. э. были уничтожены города Помпея, Геркуланум, Стабия. Вулкан Мон-Пеле на о. Мартиника в 1902 г. уничтожил город Сен-Пьер, а затем при последующих извержениях еще несколько населенных пунктов. При катастрофическом извержении вулкана Тамбора в 1815 г. на о. Сумбава в Индонезии погибло около 60 тыс. человек и на огромной площади пахотные земли пришли в негодность. Столь же гигантской силы извержение вулкана Кракатау в 1883 г. (тоже в Индонезии) лишило жизни 36 тыс. человек. И хотя здесь опустошение и гибель людей произвели волны — цунами, виной этому было извержение вулкана. При извержении вулкана Ундзен в Японии грязевым потоком было погребено свыше 10 тыс. человек. Сравнительно небольшое извержение вулкана Гунунг-Агунг в Индонезии унесло около 3 тыс. человеческих жизней. А что натворил совсем невзрачный вулкан Катмаи в 1912 г.? Выбросив 28 км<sup>3</sup> раскаленных вулканических продуктов, он уничтожил все живое на огромном пространстве. Даже извержение Безымянного (оно намного слабее, чем извержение Кракатау и тем более Тамбора) оставило после себя большое опустошение, уничтожив около 400 км<sup>2</sup> леса и изувечив окружающую местность.

Это лишь некоторые фрагменты катастроф. А сколько производят опустошений извержения вулканов на Тихоокеанском побережье Американского сектора?

Казалось, ничто и никто не может предотвратить грозящей опасности. Так продолжалось многие сотни лет. Но человек не мог смириться с таким положением и искал пути для познания этих явлений. И хотя человек не может предотвратить катастрофические извержения, он научился

предсказывать их. Пусть еще не всегда можно точно определить сроки и силу извержения, но, тем не менее, люди теперь знают о грозящей им опасности.

На чем же основаны эти предсказания?

Коротко напомним, в чем заключается суть извержения вулканов. Выше говорилось о том, что земная кора и верхняя мантия находятся в твердом состоянии, хотя на большой глубине температура их чрезвычайно высока. Но так как породы на значительных глубинах находятся под большим давлением, они не плавятся. В результате тектонических разломов, трещин, это равновесие может быть нарушено, и тогда твердое вещество превращается в расплав. При переходе вещества из твердого состояния в жидкое оно увеличивается в объеме, а значит, и давление будет пным, значительно большим, чем при равновесном состоянии.

По мере притока тепла давление в магматическом очаге все в большей степени увеличивается, расплав устремляется в выводной канал вулкана. Но канал пока прочно закупорен, поэтому расплав сразу прорваться к поверхности не может. По этой причине вулкан вспучивается, приподнимается иногда на десятки, а порой и сотни метров. Это ведет к тому, что изменяется наклон земной поверхности у подножия вулкана. Продвижение магматического расплава с глубин к поверхности дает о себе знать еще дрожанием вулкана, изменением температуры и химического состава газов, намагниченностью горных пород. Это и есть стадия подготовки вулканического извержения. Наиболее универсальным предвестником его являются вулканические землетрясения. В большей или меньшей степени, но они предшествуют каждому вулканическому извержению. Причины их — те же нарушения в виде разломов, трещин, сдвигов. От них возникают толчки, а затем в горных породах образуются упругие волны — продольные и поперечные, которые распространяются во всех направлениях. Эти волны и вы-

зывают землетрясения, которые улавливаются и записываются специальными приборами-сейсмографами. Схема устройства сейсмографа такова (рис. 10): маятник со стержнем (А), грузом (М) и стрелкой (В); на последней имеется перо, которое и делает записи на вращающемся барабане

(Б). Если нет землетрясения, линии ровные, а когда оно происходит, получается волнистая линия — сейсмограмма, показывающая характер вулканического землетрясения.

Конечно, это лишь принципиальная схема устройства сейсмографа. Имеются и более сложные приборы; они регистрируют с большой точностью даже такие землетрясения, которые не ощущаются человеком.

Другим важным предвестником извержения являются наклоны земной поверхности, которые больше всего увеличиваются у подножия вулканов. Они регистрируются специальными приборами — наклономерами. Эти приборы высокочувствительны и могут улавливать незначительные изменения наклонов земной поверхности.

Изменение магнитного поля Земли — еще один предвестник извержения вулканов. Ему придается также серьезное значение. Суть его заключается в том, что, если вблизи вулкана магнитное поле изменяется, это является сигналом подготовки вулкана к извержению.

В настоящее время много внимания уделяется фумарольной стадии извержения. И не зря! Оказывается, газовый состав фумарол чувствительно реагирует на поведение вулкана: при усилении или ослаблении извержения он изменяется, что также может служить одним из предвестников вулканических извержений.

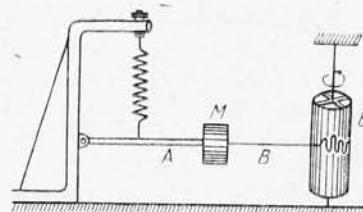


Рис. 10. Принципиальная схема устройства простейшего сейсмографа (пояснение в тексте).



Изложенное — не только теоретические предпосылки. Предсказание извержений подтверждено практикой. Так было в Японии при извержении вулкана Асама в 1947 г. Предсказывалось и извержение вулкана Безымянного в 1955 г. на Камчатке. Этому извержению, которого вовсе не ждали, так как считали вулкан давно потухшим, предшествовали землетрясения. И чем ближе подходило время извержения, тем они проявлялись все чаще, а перед самым извержением только за сутки зарегистрированы сотни толчков.

Интересным было также предсказание извержений вулкана Шивелуч в 1964 г. Шивелуч копил силы для извержения многие годы, но каков будет финал, никто не знал. Приближался день разрядки. Это было замечено за несколько месяцев до извержения вулкана: «рои» землетрясений, которые регистрировались сейсмостанциями, точно указывали предстоящее место извержения — вулкан Шивелуч. В связи с этим была проведена соответствующая подготовка для наблюдения за извержением и приняты необходимые меры предосторожности. И вот, наконец, наступило 12 ноября 1964 г. Шивелуч зажег свой гигантский каменный факел. Разразилось необычайной силы катастрофическое извержение, которого не было здесь более 100 лет. По своей силе он может сравниться лишь с извержением этого же вулкана в 1854 г.

Но, вероятно, наиболее точным было предсказание большого трещинного Талбачинского извержения, которое началось 6 июля 1975 г. Извержение предсказано с точностью до нескольких дней.

В настоящее время тщательные наблюдения ведутся за Ключевской группой вулканов. Создан стационар для наблюдения за Авачинской группой. Осуществляется комплексное изучение вулканов Карымского, Мутновского, кальдеры Узон и некоторых других. В сочетании с другими методами сейсмический прогноз извержений окажется более надежным и точным.

## **БУШУЮЩЕЕ ПЛАМЯ ВУЛКАНОВ ВЫЗЫВАЕТ... ПОХОЛОДАНИЕ**

Кажется, что такое утверждение лишено логики. В самом деле, при вулканических извержениях из недр Земли выбрасывается огромное количество тепла. Но, оказывается, чем активнее извергаются вулканы, чем больше выдается на поверхность раскаленного вулканического материала, чем больше кажется накалившейся атмосфера планеты, тем скорее наступает похолодание, вызывающее оледенение. Как показали исследования И. В. Мелекесцева, В. Н. Виноградова и других, вулканизм способствует возникновению и существованию ледников.

Чем же это объясняется?

Вероятно, многие знают, что чем выше мы поднимаемся от поверхности Земли, тем становится холоднее. Когда мы следуем куда-либо на воздушном лайнере, нас не удивляет объяснение, что за бортом самолета — 43 или 50°C. К этому мы уже привыкли. При извержении вулканов конусы их все время наращиваются (разумеется, здесь тоже имеются пределы, но это уже другой вопрос). Постепенно вулканические горы достигают такой высоты, где выпавший снег и образовавшийся лед уже не тают. Многие вулканы Камчатки покрыты снегом и льдом даже в самое теплое летнее время; этот покров никогда не сходит с них.

Но это локальные, местные явления. Более масштабные явления объясняются другими причинами. И. В. Мелекесцев на основании изучения вулканизма Камчатки,

а также анализа литературных данных пришел к выводу, что вулканизм оказывает заметное воздействие на земную атмосферу главным образом тем, что загрязняет ее мелкодробленным вулканическим материалом. Это происходит преимущественно во время мощных взрывных извержений, когда мелкодробленные вулканические частицы выбрасываются в высокие слои атмосферы и разносятся над громадными участками земли. Например, пеплы вулкана Безымянного уже через несколько суток после извержения (1956 г.) были обнаружены над Лондоном. Заметим, кстати, что это извержение на нашей планете было не самым сильным. Нечто подобное наблюдалось и после извержения других вулканов.

Загрязнение атмосферы приводит к уменьшению ее прозрачности, т. е. из-за вулканической пыли на Землю поступает меньше солнечного тепла. Кроме того, находясь в атмосфере эти же частицы пыли (пепла) способствуют развитию облачности, вследствие чего также уменьшается доступ солнечного тепла на Землю. Это дает основание утверждать, что уменьшение прозрачности атмосферы из-за наличия в ней взвешенных частиц вулканического происхождения может быть причиной похолодания, а в дальнейшем и оледенения.

Но много ли выбрасывается в атмосферу этих частиц? Вот некоторые данные об объемах выброшенного вулканического материала, загрязняющего атмосферу и заслоняющего солнце.

При извержении вулкана Тамбора (1815 г.) было выброшено на поверхность в общей сложности  $186 \text{ км}^3$ , Косегвина (1835 г.) —  $10 \text{ км}^3$ , Кракатау (1883 г.) —  $18 \text{ км}^3$ , Катмай (1912 г.) —  $28 \text{ км}^3$ , Ксудач (1907 г.) —  $3 \text{ км}^3$  (объем равен извержению Безымянного) и т. д. Эти извержения отделены одно от другого большим промежуток времени, когда выброшенный вулканический материал одного извержения успевал осаждаться до наступления следующего. Этим и объясняется слабое воздей-

ствие их на изменение климатических условий. Но даже одно извержение Кракатау, как полагают И. И. Гущенко и другие, понизило среднегодовую температуру земного шара на  $0,5-0,6^\circ\text{C}$ . Это воздействие только одного вулкана. Если бы все эти извержения произошли одновременно, эффект был бы совсем иной и похолодание было бы ощутимым. В прошлом же были вспышки и более крупного масштаба. На территории Восточной и Южной Камчатки прослежены вулканические отложения верхнего плейстоцена мощностью 30—40 м, что свидетельствует о весьма мощных вулканических извержениях. Столь же интенсивная вулканическая деятельность в это время происходила на Курильских островах, в Японии, Центральной Америке, на Кавказе, Украине, в Закарпатье, Венгрии, Румынии и т. д. Предполагается, что во время повышенной активности вулканической деятельности атмосфера была загрязнена пылевидными частицами на протяжении нескольких тысячелетий. Это, разумеется, не могло не сказаться на климатических условиях земного шара. Оказывается, для того, чтобы наступило начало ледникового периода, достаточно в умеренных поясах понизить температуру на  $4-5^\circ\text{C}$ .

Не исключено, что массовая гибель животных, в частности мамонтов, на Камчатке, которая произошла несколько десятков тысяч лет назад, была вызвана совпадением пиков активной вулканической деятельности и наступившим в связи с этим похолоданием. В бассейне р. Камчатки имеется целое кладбище костей мамонтов. Долина реки в то время была окружена вулканами, которые первыми покрылись ледниковым панцирем. Затем ледники неотвратимо наступали и на пониженные части, ограничивая площади пастбищ мамонтов. Общее понижение температуры и отсутствие корма привело к гибели скопившегося здесь стада мамонтов.

Разумеется, извержение вулканов — не единственная причина изменения климатических условий и наступле-

ния похолодания, в том числе и оледенения. Сделанные выводы пока предварительные. Причинная же связь между вулканизмом и изменением климатических условий несомненна. Поэтому роль вулканических процессов необходимо оценивать в должной мере.

Но наблюдаются явления и противоположного характера. Директор Главной геофизической обсерватории М. И. Будыко, отвечая на вопрос, меняется ли климат Земли, сказал следующее: «В 20—30-х годах нашего века отмечалось потепление на всем земном шаре; среднегодовая температура земной атмосферы поднялась на  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Это было особенно заметно на Севере: началось потепление Арктики, значительно отступили полярные льды и на больших пространствах ощутимо изменились природные условия. По современным представлениям, такое изменение климата было связано с тем, что уменьшилось запыление нижней стратосферы. Пыль попадает туда главным образом в результате вулканических извержений, а в течение нескольких десятилетий таких извержений было мало. Атмосфера стала прозрачнее, поток солнечной радиации увеличился, и наступил период потепления. После 40-х годов, когда вулканическая активность снова возросла, началось похолодание» («Известия, 1 июня 1972 г.).

Необходимо также отметить, что в областях действующих вулканов атмосфера почти постоянно загрязнена газообразными продуктами. Многолетние наблюдения Л. А. Башариной показывают, что тончайшие вулканические частицы остаются в атмосфере на протяжении нескольких лет после извержения, поднимаясь на высоту 40—50 км и распространяясь на сотни и тысячи километров.

В атмосферу Камчатки в пределах активно действующих вулканов выделяются, кроме водяного пара, галогиды, серный, сернистый и углекислый газы, сероводород, аммиак и другие, а также микрокомпоненты мышьяка и

бора. Следует иметь в виду, что если твердые продукты попадают в атмосферу только во время извержений и относительно быстро осаждаются, то выделение газообразных веществ измеряется десятилетиями и столетиями.

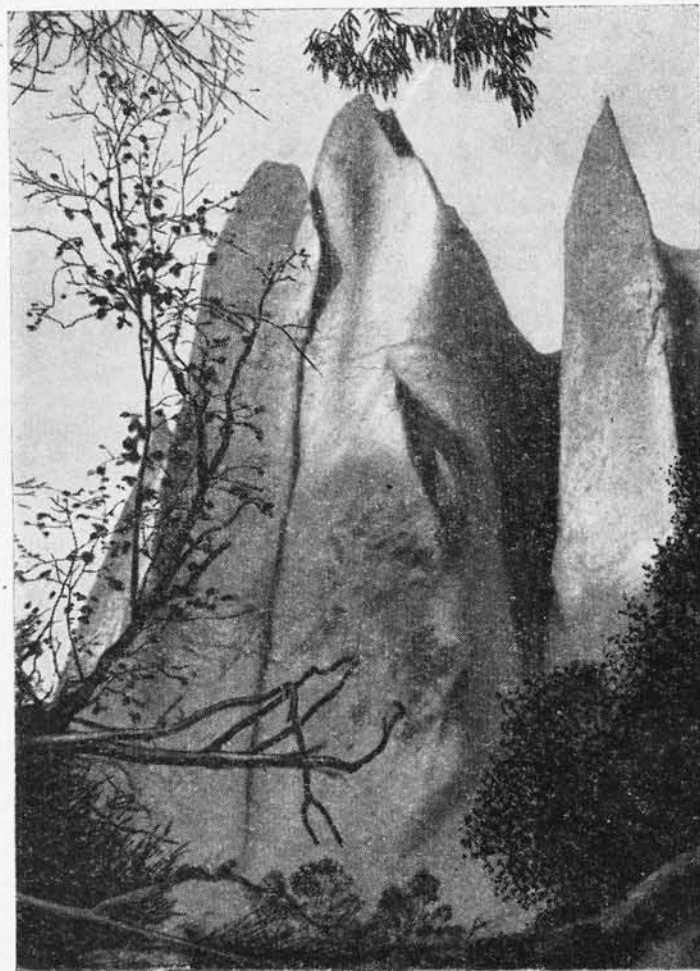
Наблюдения над некоторыми действующими вулканами Камчатки показали, что и объемы выбрасываемых газов необычайно велики. Так, по данным С. И. Набоко, при извержении побочного кратера Ключевского вулкана Билюкай только в течение двух часов выделилось более 100 тыс.  $\text{м}^3$  соединений хлора. А, как утверждает Б. И. Пийп, во время извержения Ключевского вулкана в 1945 г. за 10 ч было выброшено 27 млн.  $\text{м}^3$  газа (в пересчете на объем жидкой воды).

Даже в периоды затишья, когда вулканы прекращают свою активную деятельность, газы продолжают выделяться, и в радиусе 12—15 км от вулкана отмечается загрязнение атмосферы газами, значительно превышающее содержание их в атмосфере невулканических областей.

Из только что изложенного даже небольшого количества фактов можно видеть, что такое обращение вулканов с атмосферой не проходит бесследно для нашей планеты. Теперь уже доказано, что вулканизм заметно влияет на изменение климатических условий на ней — похолодание при вулканических вспышках и потепление в промежутках между ними.

Получается нечто невероятное, союз контрастов: чем больше выделяется тепла из глубин Земли на ее поверхность, тем больше на ней образуется льда. Но, тем не менее, это так, пламень и лед в таких местах живут в обнимку с незапамятных времен,

## **ПРОДУКТЫ ВУЛКАНОВ. ЧЕМ ОНИ ПОЛЕЗНЫ ЧЕЛОВЕКУ?**



Мы познакомились со многими действующими вулканами Камчатки. Попутно рассматривали другие вулканы, расположенные в разных частях земного шара. Ознакомились также с географическим положением их. Узнали грозную силу вулканов.

Но мы убедились и в том, что многие вулканы Камчатки, как, впрочем, и других районов земного шара, обладают неповторимой красотой, создавая своеобразные пейзажи. Многие места получили большую известность именно благодаря вулканам. Некоторые вулканы прославляются веками и даже служат местом паломничества. Да и нельзя равнодушно смотреть на такое величие природы, каким являются вулканы Арарат и Эльбрус на Кавказе, Фудзияма в Японии, Килиманджаро в Африке и еще многие другие вулканы мира. И, конечно же, никого не оставит равнодушным необыкновенная красота Ключевской сопки на Камчатке. Одной из достопримечательностей является Авачинский вулкан и стоящий рядом с ним Корякский, доставляющие большое эстетическое наслаждение жителям Петропавловска-Камчатского.

Но есть у вулканов и другие, более весомые достоинства. Вулканы выдают на поверхность Земли огромное количество твердых, жидких и газообразных продуктов.

Твердые — это вулканические бомбы, шлаки, лапилли, песок, пепел, а также излившиеся лавовые потоки.

Собственно жидкие продукты — всевозможные термальные источники и горячие воды вулканического происхождения.

Наконец, газообразные вулканические продукты, к которым относятся главным образом фумаролы; с ними связана наиболее длительная стадия вулканической деятельности. В результате вулканической деятельности образуются многие виды полезных ископаемых.

Всеми этими вулканическими продуктами в той или иной степени пользуются люди. О некоторых из них пойдет речь ниже.



На деятельность вулканов, особенно в прошлом, можно смотреть и в более широком плане. Ведь многие вулканы еще в архидревнее время выдавали на поверхность нашей планеты огромное количество изверженного материала, которым постепенно создавалась верхняя оболочка — земная кора. Одновременно изверженные продукты вулкана насыщали атмосферу углекислотой, давшей начало растительности, а последняя неустанно наступала на каменные пустыни. Впоследствии обильный растительный покров во многом превратился в залежи каменного угля и подземные бассейны нефти. Постепенно возникали такие условия, которые уже могли способствовать появлению живого вещества. Но прошли миллиарды лет до того времени, когда это случилось.

Простейшие организмы появились на Земле 2 миллиарда миллионов лет назад. Спустя еще свыше двух миллиардов лет возникли археоциты. Развитие органического мира шло медленно. Лишь 420 миллионов лет тому назад простейшие рыбообразные стали населять водные просторы. Прошло еще 360 миллионов лет, появились млекопитающие на земной тверди. Наконец, венец творения природы — человек. Возраст его — не менее одного миллиона лет.

Но возвратимся к продуктам вулканов. Как они возникли и как этим богатством пользуются люди? Прежде всего о самом главном — о горных породах вулканического происхождения, которые встречаются в обилии, или просто камнях.

## Вулканические камни

Мир камня необыкновенно богат и разнообразен. Люди с незапамятных времен верили в них, придавая им сказочную силу. Верят они в силу камня и теперь, но уже не в легендарную, а реальную. Камень играл и в настоящее время играет огромную роль в жизни человека,

он — основа человеческой культуры. В далекое время, которое называется каменным веком, из камня делали многое — топоры, мотыги, молотки, скребки, резцы, сосуды, всевозможные охотничьи орудия и т. д. А вспомним многочисленные наскальные надписи и рисунки, которые равноценны неисчислимым томам книг!

Нет такого периода в истории общества, начиная с самых древних времен, когда бы человек мог обойтись без камня. Археологические раскопки все в большей и большей степени свидетельствуют о широком использовании камня. Почти 1000 лет стоит Софийский собор в Киеве, построенный из камня. А весь комплекс Киево-Печерской лавры? Это ведь тоже камень. Много древних построек находят в Таврии, на Кавказе, в Центральной России и во многих других местах. Кого не удивляют монументальные колонны Исаакиевского собора в Ленинграде, сделанные из монолитных глыб камня, либо постамент памятника Петру I, доставленного сюда издалека. Разумеется, это лишь единичные примеры из большого числа сооружений.

Но, пожалуй, в наибольших объемах применяется камень в строительном деле. Посмотрите на многие станции московского, киевского, ленинградского, тбилисского и других метрополитенов, и вы убедитесь, что можно сделать из камня. Обратите внимание на некоторые сделанные из камня либо облицованные им здания Москвы, Ленинграда, Киева, Еревана, Свердловска, Новосибирска, Владивостока, Таллина, Баку и многих других городов. Не торопитесь пройти мимо таких зданий, посмотрите на них внимательно и оцените красоту камня, который, казалось, был совсем невзрачным до того, как его искусно обработали. Камень — это жилища людей, это плотины и мосты, ровные дороги и красивые набережные, удобрение почв и топливо, многие детали машин и т. д. Без камня немислим и быт людей. Из него делают посуду, всевозможные скульптуры, украшения, отчасти

даже одежду и еще многое другое. Камень — опора человека во всем, и без него обойтись невозможно.

Все это в равной мере относится и к вулканическим камням. Если вы попадете в горные районы и, в частности, на Камчатку, то непременно встретитесь со скалистыми каменными скалами. Достигните их вершины только взором — и закружится голова. У одних они вызывают восторг, у других изумление, а у третьих, быть может, и страх. Исключается лишь одно — равнодушие. Если же вам удастся взобраться на такие скалы, вы будете очарованы тем, что откроется вашему взору с этих вершин. Камень вам расскажет о том, как он родился и жил и какое после себя оставит наследство...

Земная кора во многих местах покрыта вулканическими продуктами самого разнообразного состава, мощность которых иногда измеряется многими километрами.

Камчатка в этом отношении — район особый. Здесь нельзя шагу ступить, чтобы не попасть на вулканические породы. Они разного состава. Это базальты, андезиты, дациты, липариты, вулканические стекла — перлиты и обсидианы, вспенившиеся стекла — пемзы, а также разнообразные обломочные породы — туфы. Породы прослеживаются в лавовых потоках, вулканических конусах, куполах, экструзиях, дайкообразных телах. Количество вулканических продуктов на Камчатке практически неограничено.

Начнем наше описание с самых основных вулканических пород, к которым относятся базальты.

**Базальты** — наиболее распространенные вулканические породы Камчатки и встречаются почти повсеместно. Они обладают высокой прочностью и являются прекрасным строительным материалом. Им присущи и другие ценные качества: электроизоляционные свойства, химическая стойкость, устойчивость при изменении температур в широком диапазоне (рис. 11).

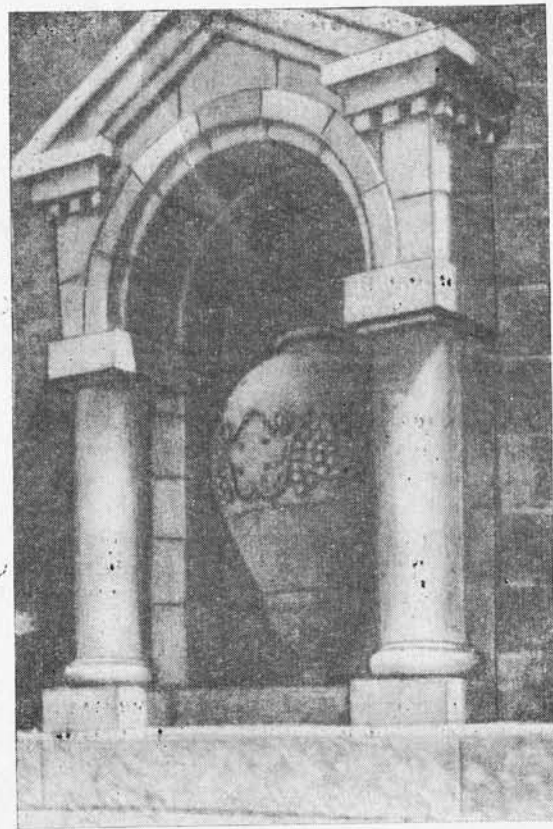


Рис. 11. Здание, построенное из базальта (фрагмент).

Базальт бывает плотный, почти нераскристаллизованный, иногда ноздреватый, пористый с газовыми полостями и т. д.



Как строительный материал базальт известен уже давно, начиная с бронзового века, т. е. около 4 тыс. лет (каменные частоколы в Армении). Некоторые памятники старины, в частности крепость Гарни, также сооружены из базальта. Базальт хорошо поддается обработке, поэтому изделия из него украшены иногда красивейшими орнаментами ручной работы. Он может применяться как стеновой и облицовочный материал, из него делают плиты для лестниц и полов, щебень для мощения дорог и т. д. Это и великолепный материал для камнелитейной промышленности (он плавится при температуре около 1200°C). Плавленный базальт может также служить облицовочным материалом и для изготовления высоковольтных изоляторов. Он широко применяется для изготовления кислотоустойчивых изделий: труб, желобов, ванн и т. д. Из базальта делают даже своеобразную вату, которая является хорошим звуко- и теплоизоляционным материалом. Очень важной отраслью является изготовление искусственного волокна из плавленого базальта. В естественных условиях некоторые разновидности «волос Пеле» вулкана Плоский Толбачик на Камчатке напоминают искусственное волокно. Вероятно, перечисленным не исчерпываются области применения базальта, но даже из этого можно видеть, что он представляет большую ценность.

Сырьевые ресурсы базальтов на Камчатке неограничены. Базальты попеременно с рыхлыми отложениями слагают конусы многих вулканов, протяженные лавовые потоки, шлаковые конусы, в значительном количестве присутствуют в вулканических обломочных породах, выброшенных из жерл вулканов.

Разумеется, не всегда базальты находятся близко от потребителя, часто отсутствуют удобные подходы к ним. Экономическая целесообразность требует и соответствующих объемов, и нужного качества сырья. Но имеется главное — большое количество базальтов, что и позволяет сделать необходимый выбор.

И еще одна важная особенность базальтов. Некоторые наиболее основные разновидности их обогащены металлами, в частности титаном и оловом (потухшие вулканы Северо-Востока СССР). Это заставляет смотреть на них и как на потенциальных носителей металлов.

**Андезиты.** Они содержат больше по сравнению с базальтами кремнезема, поэтому расплавы этого состава более вязкие. Образуются они преимущественно при взрывных извержениях.

Многие вулканы Камчатки андезитового состава и слагают вулканические купола, а также экструзии, лавовые потоки и особенно большие объемы рыхлых или пирокластических отложений.

Подобно базальтам андезиты очень широко распространены и могут служить неисчерпаемым сырьевым источником. Они являются прекрасным материалом для изготовления плит, пригодных для полов, облицовки, сооружения монументов, лестничных пролетов. Андезиты уже используются и могут более широко применяться для изготовления всевозможных кислотоупорных изделий.

Дациты также широко распространены на Камчатке. Они часто встречаются в Ключевской группе вулканов, слагая преимущественно экструзивные тела. В значительных объемах дациты выявлены в Карымской группе, где ими сложен современный конус вулкана Карымского, отчасти лавовые потоки вулканов Белянкина и Академии наук. Часто встречаются они и среди вулканических пород Южной Камчатки.

Дациты бывают стекловатого облика и частично раскристаллизованные, но и в последних преобладает стекло. Подобно другим, более основным породам, дацит также применяется в строительном деле, для изготовления электроизоляторов и в других целях. Недавно благодаря усилиям дальневосточных геологов обнаружено крупное месторождение дацитового порфира, пригодного для получения из него фарфора. В настоящее время Владивосток-

ский и Артемовский фарфоровые заводы изготовляют из плавленного дацита чайные и столовые сервизы, вазы, статуэтки.

Вероятно, этим не ограничивается применение ценного вулканического камня, но даже из небольшого перечня видна важная роль его в жизни человека.

**Липариты.** Расплавы, из которых образуются липариты, встречаются в современных вулканических областях нечасто. Эти породы в свое время были изучены на Липарских островах, откуда произошло их название.

Липарит — наиболее колоритная разновидность вулканических пород. Он обладает необычайно богатыми вариациями текстур, определяющих внешний облик породы. Некоторые из них имеют четко выраженную полосчатость. Полоски разные по мощности, даже одна и та же полоска имеет небольшие раздувы и пережимы. Неравномерна и протяженность их. Они бывают прямолинейными, иногда с изгибами, причем настолько разнообразными, что это создает сложные и красивые узоры на плоскостях излома. Особенно хорошо они видны на отпрепарированных или отполированных поверхностях. Сложная узорчатость некоторых разновидностей липаритов столь же богата нежными цветовыми оттенками отдельных полосок. Как можно видеть при больших увеличениях (под микроскопом), разноокрашенные полоски неодинаково раскристаллизованы; светлые имеют большую степень кристалличности, темные — часто почти стекловатые.

Иногда в липаритах имеются отчетливые сферолитовые обособления, тоже создающие своеобразные узоры.

Такая сложная полосчатость зарождается еще в расплаве, она обусловлена неравномерным распределением некоторых составных частей (железа, щелочей, газообразных и некоторых других веществ) в отдельных участках магмы. Когда же такой расплав достигает поверхности Земли и по мере остывания превращается в твердую

породу, внешние факторы способствуют более четкому, рельефному обособлению образованной полосчатости и тогда можно яснее видеть совершенство рисунка.

Благодаря богатой вариации природных узоров породы липаритового состава широко применяются в строительстве. Облицовка зданий такими плитами — что еще может придать им более красивый вид! Вероятно, столь же красивым может быть настил полов этими плитами, если учесть наличие разноцветных оттенков. Липариты являются ценным сырьем для производства разнообразной посуды и т. д.

Если учесть все это, станет ясным значение этих пород в жизни человека и почему вулканизму кислого состава придается большое значение.

**Обсидианы и перлиты.** В строительном деле это необычайно важные вулканические породы. Вулканическое стекло отмечается и на Камчатке. Прежде всего следует указать на месторождение перлитов и обсидианов, расположенное вблизи пос. Начики. Мощность их здесь довольно значительная, достигающая местами 50 м. В некоторых местах обсидианы выступают монокристаллической стеной. Это лавовый поток обсидиана, в котором великолепно выражены все детали его строения. В нем можно восстановить характер движения потока, которое было неравномерным — нижние, более разогретые части двигались быстрее, а верхние, ставшие вязкими и даже хрупкими, лопались, разрывались и растягивались вдоль текучих полос.

Как же образуются подобные породы в природных условиях? Обсидиан — порода очень кислая, т. е. содержит большое количество кремнезема. Такие породы в расплавленном виде имеют большую вязкость. Поэтому, изливаясь из жерла вулкана, она не кристаллизуется, а застывает в виде стекла. Но, как это хорошо видно по некоторым обнажениям, поток не везде состоит из стекла; верхние части его порой вспучены и образуют литоидную пензу. Это объясняется следующим образом. Как извест-

но, в таком вязком расплаве содержится некоторое количество растворенной воды. До тех пор, пока расплав находится под давлением, в нем никакого вспучивания не происходит и он может застыть в виде стекла. Но как только поток выходит на поверхность, давление уменьшается, вода превращается в газ и вспучивает расплав. Сила эта огромная, вполне способная вспучить стекло в 5—10, иногда 15 и даже (в редких случаях) в 20 раз. Однако не весь поток, а только верхнюю его часть; находящиеся ниже слои потока не вспучиваются, давление верхних слоев таково, что вода выделяться не может. Вот почему они застывают в виде стекла. Потоки их обычно короткие.

Свойство перлитов и обсидианов хорошо изучено. Теперь уже искусственное вспучивание вулканического стекла поставлено на промышленную основу.

Перлиты и обсидианы могли образоваться разными путями — в результате излияния лавовых потоков (эффузивный процесс), выжимания куполов (экструзивная форма), взрывных извержений (эксплозивный процесс).

Наиболее ценными качествами обладают перлиты и обсидианы, образовавшиеся в результате излияния лавовых потоков, поскольку они имеют наибольший коэффициент вспучиваемости, что весьма важно для технологических целей. Некоторые ученые считают, что такие потоки состоят не из монолитного расплава, а из смеси высокоподвижных обломков. Но в принципе это не меняет сути дела.

В некоторых случаях перлиты и обсидианы могут образоваться в результате взрывных извержений. Обычно это начальная стадия извержения вулканов, когда выбрасываются мелкодробленные частицы (лапилли, песок), которые впоследствии уплотняются, образуя стекловатый перлит и пемзу, реже обсидиан.

В результате выжимания кислого вязкого расплава образуются перлиты в виде куполовидных выступов (эк-

струзий), а при заполнении всевозможных трещин они приобретают форму дайкообразных тел.

Применение вулканического стекла огромно. Оно может быть использовано для получения искусственной пемзы (о ней чуть ниже). Перлитостеклопласт в известной мере может быть заменителем дерева. Из него изготавливают плиты, которые являются великолепным облицовочным материалом. К тому же можно чередовать материал с разными цветовыми оттенками, что придает зданию очень нарядный вид. Но этим применение его не ограничивается. Перлит идет на изготовление оптических стекол, лабораторной и сортовой посуды, стекловолнока. И еще одна весьма важная область применения перлита — бумажная промышленность. Изготавливаемый из вулканического стекла фильтроперлит (причем это освоено недавно) нашел широкое применение в пищевой промышленности.

Пемза обнаружена во многих местах Камчатки — на Ключевском долу (Ключевская группа вулканов), на юге Камчатки — вблизи Курильского озера (Дикий Гребень), в Авачинской группе вулканов, на Срединном хребте и т. д. Интересные обнажения пемзы имеются вблизи Курильского озера, в районе рч. Озерной. Это так называемые Кутхины баты (Кутха — мифический бог камчадалов), напоминающие вертикально поставленные челны.

Пемзы образуются из твердых стекловатых пород кислого состава (липариты, дациты). Порода вспенивается (будучи еще расплавленной), поэтому пемзу иногда называют каменной пеной или ватой. Но почему расплав вспенивается? Дело в том, что в нем содержится вода. Пока расплав находится на глубине и под соответствующим давлением, вода выйти из него не может. Но как только расплав достигает поверхности и избавляется от своего «опекуна» — давления, вода, содержащаяся в расплаве, превращается в газ, увеличившийся объем ищет себе место и раздувает еще не остывший расплав. Так об-

разуется множество пор. Об этом можно судить хотя бы по тому, что пемза почти в 10 раз легче плотной породы (вес 1 м<sup>3</sup> 300—400 кг), которая не вспенилась, и даже в несколько раз легче воды.

Для того чтобы вспенился расплав, в нем должно содержаться ограниченное количество воды. Если расплав пересыщен водой, то при переходе в газовое состояние дробится на мелкие частицы, превращаясь в пески и пепел.

Теперь часто пемзу получают искусственным путем, притом по качеству она иногда превосходит природную. М. А. Кашкай и А. И. Мамедов показали, что при нагревании вулканического стекла объем его может быть увеличен до 20 раз. Там же указывается, что при вспучивании не вся вода, содержащаяся в стекле, выделяется из него, а только часть ее — в интервале температур 800—1000°C.

Пемза используется главным образом в строительном деле как тепло- и электроизоляционный, абразивный (шлифовка изделий) материал. Пористость пемзы способствует также звукоизоляции помещений.

Такие качества пемзы, как твердость, однородность и легкость, давно привлекали к себе внимание, но применялась она в мизерных количествах. Вот один из эпизодов, о котором упоминает проф. В. П. Петров\*: «В Италии, где известно много месторождений пемзы, лучшие куски отбирались и шли на экспорт, завернутые в мягкую бумагу и металлическую фольгу. В банях Древнего Востока у банщика всегда имелся кусок крупнопористой пемзы (или вулканического шлака), которым он чистил и массирует заскорузлые пятки и ступни своих клиентов». Даже по этому можно судить о том, что масштабы применения ее в то время и теперь несопоставимы.

**Туфы.** Как упоминалось выше, камчатские вулканы при взрывных извержениях выбрасывают много мелкооб-

ломочного материала — лапилли, песка и пепла. Об обилии их может свидетельствовать последнее извержение вулкана Шивелуч. Только за один час было выброшено около одного миллиарда тонн пепла.

Обломочный, или пирокластический, материал почти везде участвует в постройке вулканических конусов. На более мелкие частицы — пепел и пыль — разносятся на большие расстояния и покрывают огромные площади.

Проходит время, и эти вулканические выбросы — лапилли, песок и пепел — постепенно уплотняются, из них получается твердая порода, или туф.

Туфы обладают многими ценными качествами: высокой пористостью, низкой тепло- и звукопроводимостью, мягкие и легко поддаются механической обработке. Об этих свойствах туфов знают много веков. В обрывистых скалах, сложенных туфами, строились жилища, сохранившиеся и поныне. Так, в пределах Ахалкалакского плато в Грузии известны пещерные храмы Вардзия. Здесь в XII—XIII вв. в горизонте туфов было выбито несколько сотен монастырских помещений, хорошо сохранившихся до наших дней. На том же плато в подножии вулкана Самсар залегает слой туфов с большим числом выбитых в нем пещер. Подобные строения известны на Камчатке. Здесь на одном из участков по правобережью р. Камчатки (пос. Ключи) сохранились следы древнего поселения, которому около трех тысяч лет.

Туф — один из наиболее ценных строительных материалов. В настоящее время он в больших объемах применяется как стеновой материал. В этом отношении широкую известность получил Арктикский туф (Армения). Благодаря своим декоративным качествам (узорчатость, разные цветные оттенки) он широко используется для облицовки зданий. Постройки, облицованные туфом, имеют красивый и нарядный вид.

**Игнимбриты.** Подобно туфам, это важные горные породы, и они тоже применяются в строительном деле.

\* Петров В. П. Записки петрографа. М., «Недра», 1971.

Благодаря наличию в игнимбритах цветовых оттенков они также могут идти на облицовку зданий. Но сколько вызвали споров эти горные породы! Он разгорелся по поводу происхождения игнимбритов. Но в конце концов страсти улеглись, а многие мнения сблизились.

Игнимбриты стали широко известны после катастрофического извержения вулкана Катмай, которое произошло в 1912 г. При этом извержении было выброшено огромное количество раскаленного и мелкодробленного материала, которым были засыпаны громадные просторы. Выпавшие частицы спаялись, образовав участками монолитные толщи. Отсюда и возник термин — «игнимбриты», что означает по-латыни «палящая туча» или «огненный ливень».

Игнимбриты, возникшие в недавнее время, имеются на Камчатке и Курильских островах.

Быше говорилось лишь о тех горных породах, которые непосредственно поступают на поверхность Земли при вулканических извержениях. Однако, попав на ее поверхность, они все время видоизменяются, преобразуются. Причин для этого много. На поверхности Земли они попадают под воздействие внешних факторов. Вслед за изверженными породами поступает огромное количество газов и термальных вод, преобразующих горные породы до неузнаваемости. Термальные воды ежедневно видоизменяют многие тысячи тонн горных пород. В результате нередко образуются породы, совсем не похожие на первоначальные. Вынос из вулканических пород некоторых компонентов приводит к образованию осадочных пород — глинистых толщ, накоплению известняков и других разновидностей, казалось бы очень далеких от пород первичных. Но и на этом дальнейшее преобразование не прекращается. Осадочные толщи уплотняются, попадая в более глубокие горизонты Земли, подвергаются разогреву и в конце концов вновь превращаются в магму. Такой круговорот повторяется много раз, но промежуток времени между циклами измеряется сотнями миллионов лет.

Конечно, познание сложных явлений природы — процесс длительный, требующий затрат огромного труда и знаний. В полной мере это относится и к вулканам. Многие уже познано, но многое пока покинется на догадках или гипотезах. А впереди неисчислимое количество неизведанных явлений, нераскрытых тайн. Но человек настойчиво и неутомимо, шаг за шагом познает их, добивается успеха. Можно сказать, что уже закинута узда на вулкан, но до полного укрощения его еще очень далеко. И тем не менее люди научились извлекать из продуктов вулканов большую пользу. Об этом и будет рассказано ниже.

## Могут ли вулканы вращать турбины?

Если бы можно было использовать энергию, которая затрачивается на извержение вулканических продуктов, не возник бы такой вопрос. В самом деле, энергия только одного взрыва вулкана Безымянного 30 марта 1956 г. оценивается в  $1,2 \times 10^{24}$  эрг, что в переводе на электроэнергию равно 33 млрд. кВт·ч. Такое количество электроэнергии может выработать в течение года лишь крупнейшая электростанция мира, подобная Куйбышевской либо Братской ГЭС. А ведь бывают и более сильные извержения. Но энергию таких взрывов ни сейчас, ни в ближайшем будущем человек пока использовать не может.

А вот энергия источников высокотемпературных вод вулканического происхождения используется уже давно. Конечно, не любой источник или группа их могут обладать энергией, достаточной для «вращения турбин». Но в принципе этот вопрос перестал быть дискуссионным.

Еще в 1904 г. в Италии, в районе Лардарелло, на подземных горячих водах была построена маленькая геотермальная станция мощностью всего 30 кВт. Теперь там работает несколько геотермальных станций общей мощностью свыше 300 тыс. кВт. Электростанция на тепле подземных горячих водах была построена маленькая геопланируется довести ее мощность до 250 тыс. кВт. Имеются геотермальные электростанции в Австралии и США, хотя мощности их пока остаются небольшими.

Первая такая станция, дающая свет и тепло, появилась и в нашей стране. Это Паужетская геотермальная ТЭЦ, расположенная в юго-западной части Камчатки. Мощность геотермальной теплоэлектростанции (ТЭЦ) пока не очень велика (около 5 тыс. кВт), но ведь это только начало. Теперь, когда уже есть первая тропа, можно по ней проложить (и это делается) и широкую дорогу.

Почему люди так настойчиво пытаются использовать энергию термальных источников? Это объясняется рядом причин. Во-первых, такая электроэнергия очень дешевая. Для Камчатки же это важно вдвойне: ведь здесь топливные ресурсы ограничены, а места, где такая энергия необходима, труднодоступны, снабжать их топливом сложно и дорого. Значит, освоение энергетических возможностей термальных источников для таких мест не только экономически выгодно, но и необходимо.

Паужетские источники термальных вод известны давно, еще со времени посещения Камчатки С. П. Крашенинниковым в 1738—1741 гг. Вот что писал он о них: «Ключи быют во многих местах, как фонтаны, по большей части с великим шумом в вышину на один и на полтора фута. Некоторые стоят, как озера в великих ямах, а из

них текут маленькие ручейки, которые, соединяясь друг с другом, всю помянутую площадь, как на острова, разделяют, и нарочитыми речками впадают в означенную Пауджу».

Паужетские источники — это естественные выходы высокотермальных вод, поднимающихся на поверхность Земли с глубины 100—300 м. На этой глубине температура воды равна 180—200°C. На поверхность она выходит в виде пароводяной смеси. Выброс смеси из скважин подобен извержению гейзеров и фонтанирует на значительную высоту, достигающую иногда 25—35 м.

Площади выхода термальных вод хорошо заметны и летом, и зимой. В летнюю пору их хорошо видно по высоко поднимающимся клубам пара, растительность вокруг чахлая либо ее нет совсем. Зимой эти площади не покрываются снегом, точнее, он быстро тает и испаряется, так как вокруг выхода источников поверхность земли сильно нагревается.

Схема разгрузки Паужетских горячих вод такова (рис. 12). Пароводяная смесь, полученная из скважин, разделяется в сепараторах на пар и воду. Пар поступает на турбины, а горячая вода сбрасывается и может быть использована для обогрева зданий, теплиц, создания открытых бассейнов для купанья и т. д. Что именно так это и делается, можно убедиться на примере работы Паужетской геотермальной станции.

Но, как показал В. В. Аверьев, термальные воды в глубинных условиях и те же воды в поверхностных — не одно и то же; они различаются между собой. Оказывается, по пути следования к поверхности происходит преобразование горячих вод. В результате всевозможных реакций возникают воды, отличающиеся по своему химическому составу от первоначально возникших на глубине.

Этот же ученый привел весьма веские доказательства происхождения горячих вод, в том числе Паужетских. Он



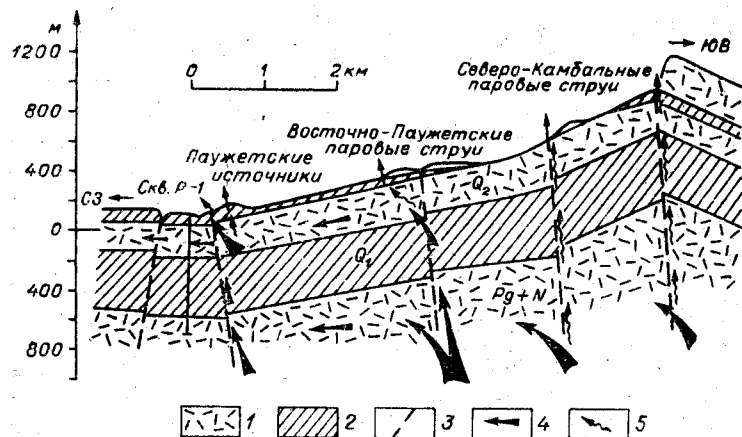


Рис. 12. Схема разгрузки Паужетских гидротерм (по В. В. Аверьеву).

1 — обводненные породы; 2 — относительные водоупоры; 3 — разломы; 4 — вода; 5 — пар.

считает, что возникновение этих вод связано с вулканами, но не всякими, а только с теми из них, продукты которых имеют кислый состав. Это заключение представляет большой интерес, так как в районе Паужетки и за ее пределами много вулканических продуктов именно такого состава. В. В. Аверьев не только предполагал, но и проверял все это на площадках Паужетского термального поля.

На Паужетском месторождении термальных вод интересны источники с гейзерным режимом (о гейзерах — в конце раздела). Это разновидность тех же термальных источников, но с режимом, схожим с Долиной Гейзеров.

Источники, подобные Паужетским, имеются и в других местах Камчатки. Вероятно, по мере проведения разведочных работ возрастает и количество их.

## А обогревать города, лечить людей?

Конечно же, вулканическое тепло может быть не только объектом энергетического использования, «топливом» для электростанций. Выше уже упоминалось, что попутно с этим горячие воды могут быть использованы и в других целях, в том числе для обогрева жилых помещений. Примеры тому уже имеются и в нашей стране, и за рубежом. Такая маленькая, каменистая и безлесая страна, как Исландия, пользуется термальными водами свыше трех десятилетий. Горячая вода — большая благодать для нее. Здесь создана теплофикационная система г. Рейкьявика — столицы Исландии. Термальными водами обогреваются жилые дома столицы, больницы, учебные заведения, многие промышленные и административные здания города. Длина теплопровода составляет 43 км. Как свидетельствуют официальные источники, сооружение теплопровода окупилось за необычайно короткий срок — всего за два с половиной года. Подземным теплом обогреваются не только здания, но и теплицы, в которых выращиваются огурцы, помидоры и даже виноград и бананы.

Подобные примеры имеются и у близкого соседа Камчатки — Магаданской области. Здесь, в бассейне р. Талая, находящейся в 250 км от Магадана, расположен санаторий. Естественный выход источников с температурой около 90°C уже несколько десятилетий не только излечивает болезни людей, но и обогревает теплицы, корпуса санатория и другие здания. Система теплофикации здесь действует безотказно.

Ну, а как обстоит дело на Камчатке? Говоря о теплофикации Петропавловска-Камчатского, нужно иметь в виду прежде всего Большие-Банные источники. Они находятся в 80 км от Петропавловска и являются одними из самых мощных на Камчатке. Температура в них почти достигает точки кипения — 98°C, а в некоторых скважи-

нах пароводяная смесь имеет температуру около 170°C.

Проведенными буровыми работами на Больше-Банном месторождении выявлены большие запасы термальных вод. Часть тепла этого месторождения может быть использована в энергетических целях, а также для теплофикации Петропавловска. Соответствующие расчеты показали, что для Камчатки это наиболее экономический вид отопления жилых и иных зданий. Это не только экономически выгодно, но избавит область от завоза дефицитного для нее топлива. Такое отопление весьма целесообразно и в санитарном отношении.

Камчатские термальные источники уже давно нашли применение в парниковом хозяйстве. Появление овощей из этих теплиц, пусть еще в недостаточном количестве, но уже ощущается жителями полуострова. Можно надеяться, что парниковое хозяйство в дальнейшем получит должное развитие.

В небольшом количестве термальные воды используются для обогрева зданий. Так, на Паужетских термальных водах теплофицирован поселок геотермальной станции геологов Камчатского геологического управления и стационар Института вулканологии. Разумеется, со временем масштабы использования этих источников возрастут.

Но тепло содержится не только в горячих водах. Еще больше его в вулканических горных породах. Прежде всего это относится к вулкану Авача, под которым, на глубине всего нескольких километров, находится так называемый периферический магматический очаг. Расчеты показывают, что зоны температур 250—500°C находятся на глубине четырех километров. Пройдет еще какое-то время и этим теплом тоже будут пользоваться люди.

Ну, а лечить людей вулканы могут? В этом отношении достигнута, по-видимому, наиболее ощутимые результаты. Горячие воды вулканического происхождения известны во многих местах Камчатки. Они излечивают недуги

людей и поэтому пользуются большой популярностью. На базе этих источников созданы санатории, которые известны далеко за пределами Камчатки. О некоторых водах лечебного свойства и рассказано ниже.

Наибольшей популярностью пользуются горячие воды рч. Киревны. Об этих источниках — отзвуках, быть может, далекой вулканической деятельности — ходят легенды. Они известны уже более 200 лет, со времен С. П. Крашенинникова, который впервые описал их. Позднее их неоднократно посещали и писали о них сотрудники Камчатской вулканостанции и Института вулканологии. Вероятно, легенды о горячих водах Киревны не лишены оснований. Здесь, в небольшой долине, сотни источников. Они парят с незапамятных времен. Имеются и самодельные «ванны» вокруг них, сделанные свыше 100 лет назад, следы которых видны по уже сгнившим бревнам. Температура некоторых источников Киревны превышает 100°C.

Сотрудник Института вулканологии Т. П. Кирсанова, которая занимается изучением термальных источников Камчатки, считает, что в рч. Киревне они представляют собой единственную группу перегретых вод\*, расположенную в Среднем хребте Камчатки.

Здесь выделяется несколько групп горячих источников, но наибольшей известностью и популярностью пользуется верхняя, расположенная в верховье Киревны, в каньоне по обоим берегам ручья, впадающего в Среднюю Киревну. Общая протяженность термального поля около одного километра. Столь же популярны источники, расположенные ниже слияния трех основных источников Киревны «Малый Ключ».

В зависимости от состава, дебита и температуры термальные площади этих источников могут быть покрыты кремнистыми осадками (гейзеритами), ореолами окислов

\* Воды, которые на глубине нескольких десятков метров имеют температуру выше 100°C.

марганца, а по руслам ручьев наблюдаются осадки окислов железа.

В горячих водах Киревны, по данным Т. П. Кирсановой, содержится борная кислота (до 200 мг/л), кремниевая кислота (от 100 до 200 мг/л), фтор (до 3 мг/л), мышьяк (8—12 мг/л) и ртуть (следы). Этим специфическим составом и обусловлены лечебные свойства их.

Термальные источники лечат многие болезни. Медицина применяет подобные источники при заболеваниях органов движения (хронические артриты и полиартриты нетуберкулезного происхождения); сухожилий, мышц, позвоночника (нетуберкулезного происхождения); периферической нервной системы (невралгия, радикулит, неврит, плексит и др.) и кожи (хроническая экзема, дерматиты, фурункулез и др.). Кроме этого, для лечения экзем и повреждений травматического характера можно применять термофильные красные и другие водоросли, обильно произрастающие как вблизи выходов источников, так и во многих других местах. Они придают воде своеобразную окраску — красную, сине-зеленую и т. д. В санатории Паратунка цветная вода является одним из лечебных средств.

Однако если источники р. Киревны представляют собой большую ценность потенциально, то в других местах они используются по достоинству и действительно лечат людей на славу. Это прежде всего Паратунские горячие источники, также связанные с проявлением вулканической деятельности. Они расположены вблизи Петропавловска-Камчатского и других крупных населенных пунктов. Такое местонахождение их, а также наличие удобных путей сообщения позволили создать здесь санаторий союзного значения, действующий круглогодично. Санаторий Паратунка находится вблизи самих источников (менее 1 км), в красивой горной местности. Популярности санатория способствуют и эффективное лечение, и хорошие микроклиматические условия в пределах Камчатки.

Температура некоторых паратунских источников колеблется от 43 до 67°C. В санатории имеются два открытых купальных бассейна с температурой воды от 37 до 43°C, в которых приятно и полезно искупаться в любое время года.

Паратунские горячие воды относятся к типу слабоминерализованных азотных, щелочных, кремнистых терм и, судя по опыту некоторых курортов (Цхалтубо в Грузии, Талая в Магаданской области, Пломбьер во Франции и др.), значительно превосходят своим действием на организм искусственно подогретые воды\*.

Кроме того, здесь имеются и лечебные грязи, обнаруженные свыше 20 лет назад в оз. Утином. Мы не будем касаться бальнеологических качеств их, это уже вопрос специальный, укажем лишь, что, по свидетельству Б. Л. Холмянского, они превосходят многие известные озерные лечебные грязи курортов нашей страны.

К показаниям для направления в санаторий Паратунка относятся различные заболевания. О некоторых из них уже упоминалось при описании лечебных свойств горячих источников Киревны. Паратунские же источники дают более универсальное лечение, и сюда могут быть направлены больные с заболеванием органов движения, сосудистыми, нервной системы, гинекологическими, последствиями воспалительных процессов в брюшной полости, некоторыми урологическими, кожными, органов пищеварения и другими.

Это не единственный санаторий, созданный на Камчатке. Севернее санатория Паратунка, в долине р. Плотниковой (быв. Начики), на поверхность выбиваются горячие источники, тоже вулканического происхождения, обладающие ценными лечебными качествами. Вблизи них

---

\* Холмянский Б. Л. Камчатская здравница. Петропавловск-Камчатский, 1961.

около трех десятков лет назад построен санаторий На-  
чки, также получивший широкую известность.

Здесь множество естественных горячих источников с температурой воды 80°C и несколько буровых скважин, температура воды в которых немного выше. Эти горячие воды используются главным образом в лечебных целях, отчасти для отопления и некоторых других хозяйственных нужд.

Севернее Петропавловска, за Авачинской группой вулканов, в верховье р. Налачевой, выходят теплые минеральные источники, среди которых наибольшую известность получили Налачевские с температурой около 75°C. В составе воды выявлены мышьяк, бром, йод, сурьма, а также соединения натрия и калия. Как полагают специалисты, высокая минерализация воды и редкое сочетание химических элементов в ней делают ее ценнейшим лечебным средством. По химическому составу — это единственные в нашей стране воды, они близки к водам таких курортов, как Ля-Бурбуль во Франции и Дюркхейм в ФРГ. Кстати, минеральные воды всемирно известного курорта в Чехословакии Карловы Вары, имеющие некоторое сходство с камчатскими источниками, также вулканического происхождения и связаны с Дуповским вулканическим массивом.

Примечательны и Пушинские источники, расположенные в рч. Кашкан (притоке р. Камчатки) в месте выхода ее из ущелья. Температура воды в них — от 20 до 35°C. Они являются и хорошим лечебным средством, и прекрасной питьевой водой.

Недалеко от Петропавловска-Камчатского находятся Малые Банные источники, которые пользовались до создания санатория большой популярностью. В них можно излечивать ревматизм, радикулит, желудочно-кишечные заболевания и др.

Некоторые камчатские источники дают великолепную питьевую воду. Среди них наибольшей известностью пользуются Малкинские. В начале XIX в. здесь даже бы-

# Сопоставление анализов вод источников Крижовый, Рудольфа и Лесной курорта Марианские Лазни (Чехословакия), Нижне-Шапинских и Пушинских (Камчатка)

Компонент	Источники				
	Крижовый	Рудольфа	Лесной	Нижне-Шапинские	Пушинские
Na	2020	80,41	710,5		
K	90,39	9,94	26,07	2183,4	2123,9
Mg <sub>2</sub>	174,1	122,2	104,9	410	54,5
Ca <sub>2</sub>	208,1	232,7	105,4	60	180,0
Mn <sub>2</sub>	1,167	0,645	0,254	Не опр.	Не опр.
Fe <sub>2</sub>	42,07	16,0	22,20	Не обн.	»
Cl	774,2	31,78	178,30	298,2	1767,2
SO <sub>4</sub>	2710	83,1	622,6	25	503,7
HCO <sub>3</sub>	2433	1468,1	1724	2788	2777,9
HPO <sub>4</sub>	2,71	0,41	0,38	2,6	0,4
pH	6,1	5,77	5,95	6,7	6,8

Примечания. Источники курорта Марианские Лазни и Камчатские по своему составу являются гидрокарбонатно-натриевыми. Анализы Нижне-Шапинских и Пушинских источников приведены по данным Центрального института курортологии (В. В. Иванов, 1951 г.).

ла построена больница, но, вероятно, условия были таковы, что она не могла сохраниться и, спустя несколько десятилетий, прекратила свое существование. Когда-то вблизи них находилось и небольшое селение Малка, кое-какие полуразрушенные строения которого сохранились до сих пор. От него и произошло название самих источников. Вода их по химическому составу напоминает Ессентуки № 4, но отличается от нее меньшей минерализацией и большим содержанием кальция.

В настоящее время из Малкинских источников производится разлив воды в бутылки. Эту приятную на вкус и полезную воду (ее используют для лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта) можно встретить теперь во многих уголках Камчатки.

Невозможно перечислить все лечебные источники, и, конечно же, еще не все они выявлены.

К настоящему времени на Камчатке выявлено около 120 групп различных источников, более двух третей из которых имеют температуру от 21 до 110°C. Даже по очень приблизительным подсчетам суммарный дебит воды термальных источников Камчатки составляет около 90 тыс. м<sup>3</sup> в сутки. В этих же источниках содержится много минеральных компонентов, имеющих немаловажное значение; сведения о них будут приведены несколько ниже. Однако главное — это использование тепла, так или иначе связанного с вулканами Камчатки. Поэтому теперь ведется тщательное изучение всевозможных выходов горячих вод с целью определения их полезности.

**Долина Гейзеров.** Фонтанирующие источники Долины Гейзеров расположены в восточном вулканическом поясе между вулканами Кихпинич на севере и Большой Семячик на юге. Гейзеры — это редкое явление природы. Долина Гейзеров на Камчатке была открыта Т. И. Устиновой в 1941 г. Теперь камчатские гейзеры широко известны в нашей стране. Они неизменно привлекают к себе самое пристальное внимание исследователей, ведь это очень интересное и своеобразное проявление современной гидротермальной деятельности. Ими не перестают восторгаться все те, кому довелось видеть их. На Камчатке это и самый привлекательный объект для туристов.

Начиная от устья р. Гейзерной, на протяжении 6 км выделяется девять групп гейзеров и термальных источников. Первый из них был обнаружен Т. И. Устиновой в долине р. Шумной, в 50 м ниже устья р. Гейзерной, и назван ею «Первенцем». Некоторые гейзеры столь характерны, что за свою оригинальность получили собственные имена. Таковы Великан, Большой, Бурлящий, Фонтан, Жемчужный, Тройной, Непостоянный, Горизонтальный и т. д. — всего их 19.

Перед нами гейзер Великан, расположенный по левобережью р. Гейзерной, вдали от ее русла. Он самый крупный среди всех гейзеров Камчатки. Размер грифона 3,0×1,5 м, глубина — около 3 м. Извержение начинается мощным всплеском, а затем столб воды взлетает на высоту до 30 м, а клубы пара поднимаются до 300 м. Такое фонтанирование Великана продолжается в течение 2 мин, после чего гейзер интенсивно парит. Этот гейзер поражает грандиозностью извержения и оглушительным ревом. Проходит еще 2 мин и грифон гейзера опустошается от воды, но парение продолжается. Затем начинается подготовка к новому извержению — грифон постепенно, с хлопотом и всплеском заполняется водой. Полный период деятельности гейзера продолжается около 4 ч 30 м.

Западнее Великана находится гейзер Жемчужный. Он расположен в колодце из глыб, покрытых гейзеритом, напоминающим жемчуг. Отсюда и название гейзера. Извержение, или фонтанирование, этого гейзера продолжается 3 мин, когда столб воды взлетает на высоту 10—12 м. В дальнейшем он парит даже в период покоя.

Очень красиво извергается гейзер Фонтан, расположенный тоже вблизи Великана. Из круглого колодца — грифона — диаметром около 60 см мощные струи воды взлетают на высоту 20 м. Фонтанирование воды в этом гейзере продолжается в течение 3 мин, а затем слышен лишь глухой рокот. После этого начинается подготовка к новому извержению. Здесь же находятся гейзеры с двойным и тройным грифонами. Извержение одного из крупных гейзеров — Тройного — начинается сразу из всех трех грифонов и продолжается около 8 мин.

Характерны и некоторые пульсирующие источники р. Гейзерной. Один из них — Плачущий, прозванный так за то, что он течет тонкими струйками, которые при увеличении напора бьют небольшими фонтанчиками. Столь же своеобразен источник Малахитовый Грот, окраска которого точно соответствует его названию (малахитовый цвет).

Нетрудно заметить, что каждый из гейзеров имеет определенный режим, извергается в свойственном каждому из них ритме, но все они действуют с точностью часового механизма.

Весьма характерны для долины р. Гейзерной так называемые гейзериты. Это кремнистые отложения ( $\text{SiO}_2$ —85—92%), которые образуются вокруг воронок гейзеров в виде корочек или натечных форм. Выпадение кремнезема происходит в том случае, когда горячая вода, поступающая на поверхность, разбрызгивается, температура ее значительно понижается, существовавшее до этого равновесие нарушается, образуется кремнистый осадок.

Как же появляются на свет гейзеры и другие термальные источники? В этом отношении еще и теперь окончательно согласованных точек зрения не имеется, но все исследователи признают, что в конечном итоге в той или иной степени они связаны с вулканической деятельностью. Известный советский вулканолог Б. И. Пийп полагал, что все термальные источники Камчатки связаны с очагами либо основной, либо кислой магмы. В группу последних, связанных с очагами кислой магмы, относятся и гейзеры. Некоторые ученые (В. В. Иванов и др.) считают, что не все источники имеют прямую связь с вулканизмом. Что же касается гейзеров, то, по их мнению, они связаны с вулканической деятельностью лишь косвенно. Эти воды формируются в процессе глубинной циркуляции в вулканогенных породах различного возраста.

Ну, а в чем причина столь точной «работы» гейзеров? Механизм действия гейзеров, правда отдаленно, напоминает извержение вулканов. Как уже известно, для того чтобы твердое вещество на глубине перешло в жидкость, необходимо снять давление, т. е. нарушить равновесие. Нечто подобное происходит и при извержении гейзеров: находящаяся во внутренних частях гейзеров во-

да с температурой выше точки кипения сохраняется в жидком состоянии до тех пор, пока не нарушится равновесие. Как только это произойдет, естественно, давление уменьшается и перегретая вода моментально переходит в пар: происходит извержение гейзера. Разумеется, это упрощенная схема. Необходим учет и других факторов, в частности соотношения между запасом тепла и притоком прохладной воды, строением местности и т. д. Точность же режима гейзеров обусловлена установившимся равновесием между притоком воды и поступающим теплом.

Что же такое гейзер? Слово «гейзер» означает «бьющий», «фонтанирующий». В Исландии в 1847 г. впервые были описаны гейзеры. Здесь находится около 700 гейзеров, в том числе и знаменитый Большой Гейзер, от которого данный тип источников и получил свое название.





При описании вулканических горных пород (или вулканических камней) было показано, что они служат ценнейшим сырьем для многих отраслей народного хозяйства. По существу, многие горные породы, образующиеся при вулканических извержениях, являются собой полезные ископаемые, и ими теперь щедро пользуются люди. Как будет видно из дальнейшего изложения, этим далеко не ограничиваются богатства, которые дарят человеку вулканы.

Когда неистовые извержения вулканов перестают дробить на части все, что встречается на их пути, а излияние жидких лав истощается либо закрывается застывшей прочной пробкой, вулкан замолкает на долгие годы. Но ничего не делать — не в натуре вулкана: на то он и действующий. Если нельзя постоянно быть буйным, то можно что-то делать тихо, без шума и грохота, и даже без особой огласки. И вулкан на длительный период, который может продолжаться десятилетиями, а то и столетиями, переходит в другую, фумарольную стадию. Температура фумарольных струй бывает очень высокой (300—500°, а порой и 800°C). Выходы паров и газов с более низкой температурой называют сольфатарами по имени вулкана Сольфатара, расположенного близ Неаполя, из кратера которого выделяется большое количество сернистых паров. Самые низкотемпературные выходы — моффеты. Все это, вместе взятое, определяется как фумарольная стадия вулканической деятельности.

Созидательная роль фумарол довольно значительная. Пронизывая своими горячими струями горные породы, фумаролы изменяют их до неузнаваемости. Но в то же время фумаролы выносят из недр Земли многие минералы, в том числе и металлические компоненты, которые могут откладываться в тех же исковерканных горных породах либо же «обмениваться» минералами — вынося одни и вместо них отлагая другие.

Можно напомнить и о том, что изверженные про-

дукты вулканов, особенно вулканический пепел, покрывающие огромные площади, содержат в себе большое количество легкорастворимых компонентов, таких как азот, калий, магний, кальций. Они легко усваиваются почвами, что способствует значительному повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Подсчитано, что только за один день (3 марта 1956 г.) при извержении вулкана Безымянного на Камчатке в выброшенных продуктах содержалось 450 тыс. т азота, 80 — калия, 36 — магния, 35 тыс. т кальция\*.

Все упомянутое выше в той или иной степени связано с вулканами и показывает другую, добрую сторону их, совсем не похожую на страшную, бушующую и опасную стихию.

Если добавить ко всему этому немаловажную роль вулканов в образовании рудных месторождений, то considerable значение их возрастает еще в большей степени. О рудообразующей роли вулканов и пойдет речь. Еще совсем недавно считалось, что вулканы к рудообразованию не имеют никакого отношения, хотя, конечно, исследования в этом направлении велись. Теперь же, благодаря работам ученых доказано, что с вулканической деятельностью связано образование многих видов полезных ископаемых, в том числе и рудных месторождений. Более того, теперь уже определенно можно говорить даже о том, что каждой геологической эпохе присущ своеобразный вулканизм и связанные с ним те или иные рудообразования. Конечно, рудообразующие процессы протекают не мгновенно и не вспышками, а продолжают до-вольно длительное время.

Известно, что с вулканами связано образование железа, алюминия, меди, серебра, золота, цинка, свинца, мышьяка, ртути и некоторых других компонентов, в том числе и редких элементов, таких как уран и торий.

\* Мархинин Е. К. и др. Вулканы Камчатки и Курильских островов. Петропавловск-Камчатский, 1959.

Кто в нашей стране не знает о богатствах Урала? Широ-кую известность здесь получили колчеданные месторож-дения, из которых извлекают главным образом медные и железные руды. Образование их происходило очень дав-но, около 400 млн. лет назад, когда здесь были не тихие и покорные горы, а бушевали огненные стихии вулкани-ческих извержений. Они наращивали вулканические го-ры все выше и выше, возвеличивая славу Урала. И в это же время шло формирование рудных месторождений.

Рудные месторождения или рудопроявления, связан-ные с вулканической деятельностью прошлых геологиче-ских эпох, известны и в других местах нашей страны, в частности в Карелии, Казахстане, на Украине и т. д.

Изучение подобных месторождений помогает расши-фровке рудообразующих процессов в прошлом, а это, в свою очередь, способствует лучшему познанию совре-менных процессов. В то же время современный вулка-низм в области рудообразования может многое дать для понимания месторождений, образованных в очень древ-нюю кембрийскую либо девонскую эпохи. Многие собы-тия далекого прошлого и настоящего тесно связаны между собой, поэтому ученые ищут и находят мосты между ними.

Иногда обнаруживаются на первый взгляд совсем не-ожиданные явления. Ну, казалось бы, какое отношение к вулканизму имеют известняки? Известно, что это поро-ды органогенного либо химического происхождения. Вы-яснилось, однако, что известняки могут служить «убе-жищем» для руд вулканического происхождения. Рудные растворы, особенно при подводных извержениях вулка-нов, уносятся течениями и, встретив на своем пути из-вестняки либо иные горные породы, откладывают в них рудные компоненты. Вот и получается — породы осадоч-ные, а руды в них вулканические.

Или другой случай — перемежаемость осадочных и вулканических пород с прослоями руд. Схематично все

это получается так. При подводных извержениях вулканов выделяющиеся газы переносят некоторое количество металлических компонентов, которые отлагаются на излившиеся лавы. Позднее лавы и отложившийся на них слой руды перекрываются морскими осадками. А поскольку извержение лав, отложение руд на них и перекрытие их осадками повторяется многократно, то в итоге получается многослойное чередование.

Приведем некоторые примеры, показывающие роль современного вулканизма в образовании некоторых рудных месторождений.

Наиболее наглядным примером в этом отношении является сера. Возникновение ее в процессе вулканической деятельности неоспоримо. Она встречается повсюду — в вулканических конусах, кратерах, кальдерах и особенно в местах выхода фумарольных струй. О наличии серы в вулканических газах можно убедиться без особого труда — ее удушливый запах напоминает о себе еще издали. Нужно сказать, что приятного в этом мало. Это так не вяжется с полезностью серы в жизни человека. В самом деле, горнодобывающая, бумажная, машиностроительная промышленность и некоторые отрасли сельского хозяйства пользуются либо самородной серой, либо же ее соединениями.

Вулканические серные месторождения Камчатки и Курильских островов получили широкое освещение в советской литературе\*. Хотя о сере этих мест знали еще в первой половине XVIII в., но серьезно изучать ее залежи и рудопроявления стали сравнительно недавно.

На Курильских островах образование серы изучалось на о. Кунашир (в кальдере вулкана Головинина и на склоне вулкана Менделеева). Отложения серы имеются также на Итуруп, Уруп, Ушишире, Расшуа, Шаншко-

\* Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования. М., «Наука», 1971.

тане и других островах, но особенно хорошо известны на Парамушире. На этом острове месторождения ее расположены в кальдерах Карпинского и Заозерной, но главным образом в районе вулкана Эбеко. Месторождение это находится в 9 км от г. Северо-Курильска.

На Камчатке серные залежи, которые могут представлять интерес, известны в нескольких местах. Можно отметить месторождение вулкана Мутновского, расположенного в пределах Южной Камчатки. Побывав на этом вулкане, наглядно убеждаешься, как происходит рождение серы. Если опустить какой-либо предмет в выделяющиеся фумарольные струи, то спустя некоторое время он покроется тонким налетом серы. Содержание серы в рудах этого месторождения 20—30, а местами 50%.

В центральном и северо-камчатском сероносных районах можно указать на месторождение, расположенное на северном склоне вулкана Малый Алней (р. Половинная), Алнейское месторождение и многие другие.

Слабые проявления серы известны и в восточно-камчатском районе, в частности на вулканах Авача, Жупановском, Ключевском, кальдере Узон, в подножии вулкана Кихпинич. Но все они, кроме месторождения на вулкане Кихпинич, имеют только минералогический интерес. В принципе многие действующие вулканы, находящиеся в фумарольной стадии, выделяют серу из газовых струй в виде сероводорода. При остывании этих струй сероводород окисляется, в результате чего выпадает сера, а водород с кислородом образуют воду. В других случаях выделение серы бывает не столь простым, а происходит в несколько этапов. Выделяющийся сернистый газ, вступающий в реакцию с водой, образует вначале сернистую кислоту. В последующем сернистая кислота вступает в реакцию с сероводородом, и в конечном счете выпадает сера.

Сера — один из очень важных компонентов, рожденных вулканом, но далеко не единственный. Теперь уже

хорошо известно, что газопаровые струи фумарол выносят на поверхность некоторые металлы. Они накапливаются в определенных местах, образуя рудные месторождения. Среди них известны руды, из которых извлекают цинк, свинец, мышьяк, ртуть, серебро и некоторые другие.

В областях современной вулканической деятельности в ряде случаев возникают месторождения несколько иным путем. И тут мы должны затронуть очень интересную и важную в теоретическом и практическом отношении проблему — вынос металлов из вулканических горных пород и отложения их вдали от вулканов.

Как все это происходит? Выше уже упоминалось, что газы и пары несут в себе различные компоненты. Охлаждаясь, они превращаются в горячие воды с очень агрессивными свойствами, и их воздействие подобно кислотам. При взаимодействии с вулканическими горными породами горячие воды просачиваются сквозь них, разлагают их и выносят такие компоненты, как алюминий, железо, марганец. Разумеется, это упрощенная схема.

Проследим, что же получается дальше. Отобранные (выщелоченные) из горных пород горячими водами металлы переходят в раствор. Концентрация металлов в растворе бывает довольно значительной, достигающей иногда 10—11 г/л. Дальнейшая судьба их зависит от того, куда они уносятся водами.

Наглядным примером в этом отношении является р. Юрьева на о. Парамушир (Курильские острова), берущая начало на склонах вулкана Эбеко и впадающая в Охотское море. Детальные исследования этой реки\* показали, что она обогащена растворенными в ней алюминием и закисным железом (соответственно 435 и 205 мг/л). Железо, переходя из закисного в окисное, становится по пути следования реки неустойчивым и выпадает. Алюми-

ний же уносится дальше. Дело в том, что объем воды в реке оказывается недостаточным для того, чтобы произошли соответствующие преобразования раствора, способствующие выпадению алюминия. При впадении реки в море пресная и морская вода смешиваются, и в дальнейшем получается взвесь окиси алюминия ( $Al_2O_3$ ), который и осаждается в виде мути.

Как показали подсчеты, только эта небольшая река всего за одни сутки выносит из вулканических пород, расположенных на склонах вулкана Эбеко, около 35 т железа и 65 т алюминия. При благоприятных условиях в течение одного года может образоваться месторождение с запасом руды (окиси алюминия) около 24 тыс. т. А ведь этот вынос и осаднения продолжают сотни лет.

Выпадения вынесенных в море алюминия и железа хорошо заметны по протяженной полосе желтой мути.

Еще пример. На о. Итуруп формируется современное железорудное месторождение, названное К. К. Зеленовым Лимонитовым Каскадом. Происходит это следующим образом. В обширной кальдере вулкана Богдана Хмельницкого имеется несколько источников. Воды этих источников, обогащенные железом, заполняют ряд озер. Отсюда они сбрасываются в р. Сев. Чирип, впадающую в Охотское море. На всем этом пути из воды выпадает железо. В протоках Лимонитового Каскада ежедневно отлагается 1,2 т железа. Накопление железа все время увеличивается. Об этом можно судить хотя бы по тому, что мощность отложений лимонита достигает на отдельных участках 10—12 м. В том, что это современное месторождение, легко убедиться — лимонит цементирует предметы недавней деятельности человека (срубленные деревья, колышки и др.). В некоторых участках в осадившийся лимонит впаиваны уже омертвевшие деревья. Как и в предыдущем случае, причиной выпадения железа является переход его из закисной формы в окисную. Подобные осаднения, но не столь эффективные, характерны и для

\* Зеленов К. К. Вулканы как источники рудообразующих процессов осадочных толщ. М., «Наука», 1972.



других мест, в частности для вулкана Менделеева на о. Кунашир, верховьях р. Кузьминки на вулкане Эбеко и т. д.

Приведем еще два примера. Речь идет об аккумуляции кратерными озерами вулканов некоторых металлов. Одно из таких озер расположено в кратере вулкана Кава-Иджен (о. Ява). Это озеро весьма насыщено соляной и серной кислотами, поэтому вода его очень агрессивна. Озеро, по свидетельству изучавшего его К. К. Зеленова, является уникальным хранилищем ультракислых вод с предельно высоким содержанием растворенных алюминия (5 г/л) и титана. Объем воды в озере около 40 млн. м<sup>3</sup>, следовательно растворенного алюминия в нем 200 тыс. т. Французский вулканолог Гарун Тазнев называет озеро одним из невозможных чудес природы (он указывает, что при этом же объеме воды алюминия в нем свыше 400 тыс. т). Не лишено основания утверждение Г. Тазнева, что в окрестностях Кава-Иджен возможно создание металлургического и химического комплексов.

Необычайно интересно кратерное озеро вулкана Малый Семячик на Камчатке, о котором упоминалось выше. Оно пропизывается выходами фумарол, температура которых 98°C. Тепловая разгрузка вулкана происходит только через поверхность кратерного озера. Площадь озера 240 тыс. м<sup>2</sup>, средняя глубина 61 м, объем воды 15 млн. м<sup>3</sup>, что значительно уступает объему оз. Кава-Иджен. Вода озера также необычайно агрессивна. В одном литре воды содержится 19,3 г сульфатов. О химической агрессивности ее могут свидетельствовать такие эпизоды: стальной гидрологический трос, опущенный в озеро, пришел в негодность через 20 мин, надувная лодка лишилась дна через несколько дней работы.

Озеро тоже является хранилищем металлов, хотя содержание их ниже, чем в оз. Кава-Иджен. Так, алюминия содержится 1,2 г/л, а суммарное количество железа —

1,1 г/л. В расчете на объем воды вес металлов выразится следующими цифрами: алюминия — 18 тыс. т., железа — 16 тыс. т. Как видно из приведенных цифр, это не так уж мало, к тому же в дальнейшем количество металлов будет увеличиваться.

Откуда в озеро поступает металл и другие компоненты? Все это привносится фумарольными струями. Проходя через слой воды, металлы растворяются и остаются в ней.

Помимо этого, на Камчатке и особенно в Корякском нагорье уже давно известны рудопоявления ртути, причем на значительных площадях. Ртуть приурочена ко вторичным кварцитам\*, как и алунит (сырье для алюминия и серы), корунд (абразивный материал), каолин и т. д.

Содержащаяся в растворах ртуть представляет собой большую ценность, прежде всего как лечебное средство. Эти свойства ее были известны давно, свыше 4 тыс. лет назад. В настоящее время, помимо этого, ртуть широко применяется в химической промышленности, ряде отраслей машиностроения, а также в производстве взрывчатых веществ.

Значительный интерес представляют серные и железистые кварциты, поскольку они во многих случаях обогащены серой, железом и другими компонентами.

Известны на Камчатке и больше всего в Корякском хребте рудопоявления меди. Подобно другим металлам, медь широко применяется в народном хозяйстве, особенно в машиностроении. На Камчатке не обнаружено промышленных концентраций меди. Но, учитывая тот фактор, что рудопоявлению меди сопутствуют никель, золото и серебро, быть может, в некоторых случаях извлечение ее в комплексе с ними окажется рентабельным.

---

\* Породы вулканического происхождения, измененные действием пара и горячих вод.

При вулканических извержениях на поверхность выносятся золоты. По-видимому, не случайно многие золоторудные месторождения расположены в пределах либо вблизи Тихоокеанского вулканического пояса.

## Вулканы и вулканчики

В ряде мест Камчатки встречаются грязевые вулканы, а точнее — вулканчики, похожие на игрушечные модели больших вулканов. Речь идет лишь о внешнем сходстве, а по существу они не сопоставимы между собой. Как отмечал В. И. Влодавец, они являются своеобразным проявлением поствулканической деятельности.

Наиболее характерные грязевые вулканчики расположены в Семьячской группе вулканов — котловине Бурлящего и в кратере собственно Центрального Семьячика, с температурой соответственно 70—96 и 62—94°C. Такие вулканчики сложены глинистым или илистым материалом, который выбрасывается на поверхность горячими водами или газами (либо тем и другим вместе) в разжиженном состоянии.

Формы вулканчиков, по данным В. И. Влодавца\*, довольно разнообразны. Они образуют как положительные, так и отрицательные формы микрорельефа. Перечислим некоторые из них: конусообразные с кратером и с маловязким грязевым потоком; куполообразные — купол с кратером, купол вздутия, купол грибообразный; трубкообразные — с круглым кратером, овальным кратером; воронкообразные, относящиеся к отрицательным формам, воронки в котле, микромаары; отмечаются правильные формы и т. д. Размеры вулканчиков во всех случаях в общем-то миниатюрные и измеряются всего несколькими десятками сантиметров в высоту и имеют диаметр, не превышающий 1 м.

\* Влодавец В. И. Вулканы и вулканические образования Семьячского района. М., Изд-во АН СССР, 1958.

Некоторые грязевые вулканчики действуют в определенном ритме, извержения их в этом отношении подобны гейзерам, хотя и не столь пунктуальны.

Как можно видеть из краткого изложения, грязевые вулканчики Камчатки отнюдь не напоминают тех вулканов, грозная сила которых сотрясает огромные пространства, превращая их зачастую в каменные пустыни, приводя в ужас тысячи людей. Эти же вулканчики действительно похожи на миниатюрные модели, созданные самой природой. Несомненно, они связаны с вулканической деятельностью и проявляются в заключительном этапе, подобно сольфатарной стадии.

Однако имеются и другие грязевые вулканчики и вулканы, которые обойти молчанием невозможно. Они резко отличаются от вулканов, о которых написана эта книга. По внешнему проявлению грязевые вулканы порой схожи с вулканами, из которых извергается магматический обломочный материал и лавовые потоки. У этих грязевых вулканов тоже отмечается взрывная стадия извержения, когда с громадной силой, на высоту нескольких километров выбрасывается столб газа, обломков и грязи. Такое сходство усиливается еще и тем, что в некоторых случаях выбрасываемые обломки пород раскалены горячим газом почти так же, как это наблюдается при извержении настоящих вулканов. Но причины извержения грязевых вулканов совсем иные. Они являются следствием постепенно накопленного газа в определенных складках земной коры, который испытывает сильный подпор жидкости (главным образом воды) снизу. В результате такого взаимодействия происходит взрывное (взрывное) извержение газа, обломков горных пород и грязи.

Грязевые вулканы представляют собой весьма важную проблему, тесно связанную с развитием некоторых видов полезных ископаемых. Классической областью грязевых вулканов в нашей стране является Азербайджанская ССР. Здесь насчитывается 220 вулканов, самое большое



количество на нашей планете. Грязевые вулканы распространены и в Крыму — на Керченском полуострове, где с ними связывают железорудные месторождения, а также на Кубани, Таманском полуострове, отчасти в Туркмении.

Грязевыми вулканами этих областей, особенно Азербайджана, занимались многие ученые нашей страны. Важное значение им придается и за рубежом. В недавно изданном издательством Академии наук Азербайджанской ССР Атласе грязевых вулканов (1971) не только красочно иллюстрируются эти образования, но дается всесторонняя характеристика. Справедливо подчеркивается важное значение их как прямых признаков наличия залежи нефти и газа, а также благоприятных структур для них.

Обычная форма таких вулканов — усеченный конус с кратером на вершине. Высота их колеблется в широких пределах — от 5 до 500 м, диаметр вершин 400—500 м и основание 3000—3500 м и более.

Масштабы проявления грязевых вулканов довольно значительные. Некоторые из них при пароксизмальных извержениях выбрасывают миллионы тонн сопочной брекчии. По масштабу это уже похоже на извержение магматических вулканов.

Над грязевыми вулканами издревле витают струи горящих газов, достигающие порой нескольких сотен метров в высоту, что в свое время заставляло суеверных людей поклоняться этому огню, считая его проявлением сил «Всевышнего».

## По камчатской Волге

Камчатка — горная страна, и ее рельеф обусловлен главным образом вулканической деятельностью. С запада она омывается Охотским морем, а с востока непрерывно таранят волны океана, который почему-то назван Тихим. Но запад и восток отличаются и в другом отношении: если в первом из них протяженный Срединный хребт увенчан молчаливыми давно угасшими и отчасти разрушенными вулканическими горами, то на востоке виден непрерывный пламень кипящего камня, огонь которого, словно факел, поднимается над вершинами вулканов. Они то затухают, то воспламеняются с новой силой, как бы соревнуясь с неугомонными волнами океана. Да и береговая линия Камчатки по обе стороны разная: на западе она ровная, на востоке воды океана вдаются глубокими заливами, бухтами, а в некоторых местах она весьма извилистая.

Между этими двумя частями полуострова находится главная артерия его — р. Камчатка. Она как бы стремится отделить молчаливые горы запада от буйных восточных вулканов.

Называют еще эту реку камчатской Волгой, не забывая при этом, что она все же в 5 раз меньше Волги. Но для масштабов полуострова такое сравнение вполне оправдано. Это самая большая река Камчатки, протянувшаяся почти на 800 км. Она и единственно судоходная из всех 14 тыс. рек и речушек полуострова.

Река Камчатка как транспортная артерия имеет необычайно важное значение для населения, проживающего в ее бассейне. Для многих она служит дорогой. По ней сплавляется к океану большое количество древесины. Эта река имеет непосредственное отношение и к вулканам. Расположенное вблизи нее огромное количество вулканических пород, пригодных в качестве строительного материала, тоже может перевозиться по ней во многие населенные пункты.

Река начинает свой путь в Срединном и Восточном хребтах. Последуем вместе с ней вниз по течению. Будучи зажатой между двумя хребтами, река стремительно и неудержимо рвется на простор, призывая на помощь своих союзниц — притоки. Преодолев первую сотню километров, река как бы успокаивается, скорость течения ее снижается. Можем оглядеться и мы. Горные хребты несколько отодвинулись от берегов реки, долина ее стала шире. словно почуввав это, река сделала попытку свернуть к востоку, но хр. Тумрок не позволил ей особенно разгуляться. Тогда она пологой петлей пошла к северо-западу и, обойдя Ключевской дол, круто, почти под прямым углом, повернула на восток.

Теперь Срединный хребет остался за «спиной» реки. Она течет поперек протяженного пояса вулканов: с юга ей улыбается Ключевская сопка, а с севера угрюмо смотрит на нее Шивелуч.

Он не только угрюм, но и неуживчив, этот Шивелуч. Как свидетельствует одна из легенд камчадалов, записанная С. П. Крашенинниковым, «Шивелуч стоял при Восточном море на самом том месте, где ныне Кроноцкое озеро, но не стерпел беспокойства от еврашек, точивших его, принужден был переселиться на свое место»\*.

Поселок Ключи. Здесь находится Ключевская вулканологическая станция. На протяжении многих лет она была главным центром советской вулканологии. На ней вели работы почти все известные вулканологи нашей страны, труды которых обогатили в этой области мировую науку.

В этих местах река, как кажется, не экономит свои силы и растрчивает их на всяческие ответвления, сильно петляет, омывает многие острова. Но главное русло ее мощное, глубоководное.

Вдруг река, как бы почуввав недоброе, подтягивает, собирает в единое русло разбежавшиеся протоки, выпрямляется. И, оказывается, не зря. Впереди, поперек течения реки встает хр. Тумрок. Река заметно сужается, скорость течения ее увеличивается. По обе стороны реки крутые берега — «щеки», а дальше на север и юг протянулся хребет, украшенный разноцветной осенней листвой. Преодолев первую гряду, река делает поворот к северу, русло ее расширяется. Однако такая свобода дана ей на короткое время: вблизи виднеется восточная гряда, или так называемые «малые щеки».

Трудно оторвать глаз от необыкновенно живописных мест. Встречаются небольшие поселки. А вот и Нижне-Камчатск, красивое село, расположенное на левом берегу реки. Оно основано еще в XVII столетии. Здесь Витус Беринг в свое время строил суда, снаряжая экспедицию, которая прославилась на весь мир.

Наконец, река совсем избавилась от стеснявших ее гор и заметно расширилась. Вблизи своего устья она достигает почти двухкилометровой ширины. Приближаемся к Тихому океану. На востоке виднеется зарево, скоро восход солнца. Начинается утро.

Здравствуй, новый день нашей страны! Ведь ты начинаешься отсюда.

\* Крашенинников С. П. Описание земли Камчатки, 1949,



Чтобы пройти путь, описанный в книге, потребовалось много времени. Полтора десятка лет назад пачата эта нелегкая дорога. Всякое встречалось на пути, но никогда не закрадывалась мысль о том, чтобы свернуть с нее и пойти по ровной тропинке. Провлинные либо пудные морозящие дожди, пронизывающие ветры, неистовая пурга не поколебали уверенности в намеченном пути. Но, кажется, и трудно найти более захватывающее, хотя, конечно, не увеселительное, зрелище, чем присутствовать при рождении вулканической горы, наблюдать потоки кипящего камня, слышать грохот извержений, видеть непрерывное сверканье молний и зловещие черные тучи, выброшенные извержением на десятки километров в высоту.

Нужно знать, что несут в себе злого и доброго такие извержения вулканов, где и когда они могут произойти еще. Для этого необходимо изучить все: предвестники и характер уже наступивших извержений, твердые, жидкие и

газообразные продукты их и многое другое. Это может показаться невероятным, но вулканологи часто мечтают о том, чтобы произошло «кашмарное извержение», в результате которого появился бы новый материал, подаренный Плутоном из глубоких недр Земли.

Да не такие уж и злые камчатские вулканы. Хотя извержения их происходят почти ежегодно, особого ущерба они не приносят. Сильные же либо катастрофические извержения бывают редко — один-два раза в столетие. К такому пробуждению вулканов нужно хорошо готовиться, чтобы оно не застало врасплох и не натворило беды.

А теперь настала пора вернуться в Петропавловск-Камчатский. Но с вулканами мы не прощаемся. Ведь и сам город расположен на склонах сопок, имеющих вулканическое происхождение: Никольской, Петровской, Мишенной. Они, эти сопки, напомнят о славной истории города. Особенно яркую страницу в нем оставили события 1854 г., когда от сопки Никольской и Сигнальной велось отражение флотилии иностранных пришельцев. Напомнят об этом расположенные здесь и макеты батарей, и памятники, и еще многое другое.

Город с вулканами не расстается и в прямом смысле: Авачинский и Корякский прописаны в нем постоянно.

Осень в Петропавловске разукрашена цветами. Здесь, в этом городе, не очень избалованном теплом, бывают даже выставки цветов.

Тихий солнечный день. Над Авачей взвились, словно свечи, высокие паровые струи, причем не одна, а сразу три. Над Корякой на сотни метров поднимается трубообразное облако и долго позирует всем, кто с удовольствием смотрит на него. Вулканы не гасят свои факелы, а только время от времени делают передышку.

В заключение хотелось бы искренне поблагодарить тех лиц, с которыми пришлось встречаться в процессе работы над книгой и прежде всего И. Т. Кирсанова и Т. П. Кирсанову, Ю. М. Дубика, а также В. А. Подтабачного, Н. П. Смелова, А. П. Хренова, К. Э. Гребзды.

И последнее. Автор надеется, что изложенные в книге сведения о действующих вулканах Камчатки принесут читателю хотя бы небольшое удовлетворение.

До новых встреч на огненных перекрестках царства Плутона!

Предисловие . . . . .	5
Вулканы. Как они рождаются? . . . . .	6
Формы вулканических построек . . . . .	19
Типы извержений вулканов . . . . .	27
Много ли вулканов на Земле? . . . . .	33
Тихоокеанское огненное кольцо . . . . .	38
Каменные факелы Камчатки . . . . .	40
Буйный характер Шивелуча . . . . .	45
Ключевская сопка — огненная вершина с ледяной диадемой . . . . .	49
Безымянный — имя громкое . . . . .	55
Кипящий камень Плоского Толбачика . . . . .	60
Новые Толбачинские вулканы . . . . .	66
Вулкан Кизимен . . . . .	72
Вулкан Гамчен . . . . .	73
Кроноцкий вулкан . . . . .	74
Вулкан Крашенинникова . . . . .	75
Вулкан Кихинич . . . . .	76
Обезглавленный вулкан . . . . .	77
Семячикские вулканы . . . . .	81
Вулкан Карымский — среди всех особенный . . . . .	85
Жупановский и Дзензур . . . . .	90
Авача — беспокойный сосед Петропавловска . . . . .	91
Вулкан Коряка . . . . .	96
Мутновский не знает усталости . . . . .	97
Скрытая красота Горелого . . . . .	101
Опала . . . . .	104
Вулкан Ксудач . . . . .	105
Вулкан Желтовский . . . . .	107
Ильинский — собрат Желтовского . . . . .	108
Вулкан Кошелева . . . . .	109
Вулкан Камбалыный . . . . .	111
Один в поле. Но воин . . . . .	112
Вулкан Алаид . . . . .	115

Сердитые вздохи Плутона . . . . .	119
Экструзивные купола . . . . .	120
Шкаловые конусы . . . . .	124
Вулканические дайки . . . . .	129
Катастрофические извержения вулканов. Можно ли пред- сказать их? . . . . .	132
Бушующее пламя вулканов вызывает . . . похолодание . . .	137
Продукты вулканов. Чем они полезны человеку? . . . . .	142
Вулканические камни . . . . .	144
Вулкан в упряжке . . . . .	157
Могут ли вулканы вращать турбины? . . . . .	—
А обогревать города, лечить людей? . . . . .	161
Вулканы и руды . . . . .	172
Вулканы и вулканчики . . . . .	182
По камчатской Волге . . . . .	184
Возвращение . . . . .	188

*Кирилл Никифорович Рудич*

**КАМЕННЫЕ  
ФАКЕЛЫ  
КАМЧАТКИ**

Редактор Г. А. Есеева

Художественный редактор М. Ф. Глазырина

Художник В. И. Шумаков

Технический редактор Т. К. Овчинникова

Корректоры А. М. Картавин, З. Д. Сабитова

---

ИБ № 9691

Сдано в набор 25 мая 1977 г. Подписано к печати 7 апреля 1978 г. МН 02036.  
Формат 79×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага машиномелованная. 6 печ. л.+2 печ. л. вкл.  
11,2 усл. печ. л., 10,1 уч.-изд. л. Тираж 50 000 экз. Заказ № 559.  
Цена 80 коп.

---

Издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099, Новосибирск, 99, Со-  
ветская, 18.  
4-я типография издательства «Наука». 630077, Новосибирск, 77, Стани-  
славского, 23.





Цена 80 коп.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ