



Вулканы Ключевской, Камень и Безымянный

ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНОВ И ЗЕМНАЯ КОРА

Е. К. Мархинин

Доктор геолого-минералогических наук

Петропавловск-Камчатский

К проблеме происхождения земной коры, океана и атмосферы подходят с разных сторон. Немало вопросов уже решено геологами и геофизиками. Но многое остается неясным, недоказанным. Интересны исследования вулканолога, который считает, что вся геофизическая эволюция внешних оболочек Земли — в конечном счете преобразование первичных вулканических продуктов.

НА БЕРЕГУ ОГНЕННОЙ РЕКИ

Выйдя в темноте на очередной гребень, мы вдруг увидели ослепительно белую быстро текущую лавовую реку. Впереди, в истоках, она текла по крутому склону и сверкала белзной раскаленного металла. Ниже от нее отходил рукав огненно-красной лавы, которая текла под нами в нескольких метрах. Исток находился у основания но-

Фото автора

вого, так называемого паразитического шлакового конуса, выросшего на северном склоне Ключевского вулкана за последние полтора месяца. Кратер этого конуса каждые две-три секунды выбрасывал на высоту нескольких сотен метров огромные пригоршни раскаленного шлака. Отверстие, из которого отливалась лава, постоянно перемещалось. Еще недавно оно было несколько выше, лава изливалась прямо

из-под шлакового конуса. Нам предстояло пройти по горячей лаве, но уже покрытой прочной 50—70-сантиметровой коркой, которая растрескалась на многочисленные неправильные многоугольники, отделенные друг от друга зияющими 10—15-сантиметровыми трещинами. Трещины эти дышали жаром, а лава в них была накалена до желто-красного цвета. На поверхности лавовых блоков запечатлелись линии

течения, напоминающие канаты. Ниже нас находилось начало огненной реки, выше — непрерывно действующий кратер, взметающий фейерверками тысячи красных бомб. Наконец мы достигли правого берега. Борта реки крутые, высокие и кажутся достаточно прочными. Мы выбираем один из мысов, с которого виден исток. Оттуда, как ручей из родника, течет раскаленный добела жидкий камень. Вот он, поток, под нами — широкий и быстрый, настолько яркий, что слепит глаза, и здесь, на его берегу, в 10—12 м от него, светло, как днем.

Поверхность потока вовсе не такая ровная, как водная гладь. Отчетливо видно, что средняя часть лавовой реки вздута горбом. Уровень лавы в огненно-белом потоке то несколько повышается, то снова спадает. Легко себе представить, как лава перельется через борта, если уровень ее повысится на несколько метров. Судя по языкам полужастывшей лавы, местами переклестнувшей через борта, совсем недавно это уже случалось. Намечаем возможные пути отступления — в такой ситуации это нелишнее. Мы стоим на относительно старой лаве, представляющей собой берега этой необычной реки; корка на ней потрескалась, и трещины выглядят кроваво-красными швами.

Это извержение началось 6 октября 1966 г., а к 20 ноября (дата, к которой относятся наши впечатления) объем излившейся лавы составил около 100 000 000 м³. Образовался значительный шлаковый конус, и немало пепла выпало вдали от вулкана. Очень много высвободилось из магмы при взрывах газов, с пеплами было вынесено много легко растворимых в воде солей.

Подобного рода извержения происходили на склонах Ключевской сопки и в прежние годы, например в 1956, 1952, 1947, 1945, 1938 гг. Но все эти извержения были относительно слабыми. Последнее сильное извержение произошло на Камчатке 12 ноября 1964 г. Это извергался вулкан Шивелуч. Тогда площадь пеплопада, по ориентировочной оценке, превысила 100 000 км², общее же количество пепла составило

около миллиарда тонн!¹ Если прибавить сюда камни и пыль лавин, образовавших пирокластический² покров, то получим массу выброшенного вулканом материала — в 2,5—3 млрд тонн! И это за один час!

Эти цифры заставляют задуматься. Ведь таких извержений (и еще более сильных) происходило на протяжении всей истории Земли очень много. И, пожалуй, не изучив вулканических извержений, их последствий, не учтя их геологического эффекта, мы не сможем ответить на вопросы о происхождении континентов, воды в океане, воздуха.

ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ПЫЛЬ И ЗЕМНАЯ КОРА

Благодаря вулканическим извержениям, с больших глубин выводятся на поверхность Земли огромные массы горячего вещества, пополняя земную кору, гидросферу и атмосферу.

Роль вулканических извержений в формировании внешних оболочек Земли за счет вещества ее глубоких недр до недавнего времени сильно недооценивалась. В последние годы, однако, многие ученые, как отечественные, так и иностранные, придают все большее значение вулканизму в образовании современных осадков в морях и океанах, разнообразных древних горных пород, целого ряда полезных ископаемых и даже вечерних и утренних зорь.

Многолетние геологические исследования на Курильских островах и Камчатке, изучение вулканических извержений и их последствий привели автора этих строк к гипотезе об определяющей роли вулканизма в процессе постепенного формирования земной коры, гидросферы и атмосферы.

Утверждение, что основным исходным материалом для образования материков служила вулканическая пыль, на первый взгляд может показаться странным. Но именно к такому выводу приводят полученные данные.

¹ Северо-западный ветер гнал тучи пепла к Командорским островам, где его выпало по 2 кг на 1 м². Много пепла падало и в море.

² Буквально: огненно-обломочный.



Евгений Константинович
МАРХИНИН

заведующий отделом Института вулканологии Сибирского отделения Академии наук СССР. Много лет занимается изучением вулканических извержений, геологии вулканических областей. Автор целого ряда научных статей и книг. Наиболее известны: «Цепь Плутона», «Роль вулканизма в формировании земной коры», «Вулканическая гипотеза...» и др.

Выше 9/10 массы продуктов, извергаемых современными вулканами, составляет пирокластический материал, в котором основное значение имеет вулканическая пыль. Например, при извержении камчатского вулкана Безымянного весной 1961 г. в результате интенсивного таяния снега под отложениями раскаленных туч — пирокластическим потоком — образовался грязевой поток. Общая длина пирокластического и грязевого потоков составила около 30 км. С лавовой горы скатилось множество огненных лавин, и из поднявшихся на высоту нескольких километров пылевых туч вышал пепел, который тонким слоем (несколько миллиметров) покрыл площадь в 7000 км². Тщательный подсчет количества выброшенного вулканом вещества дал такие результаты: пирокластический и грязевой потоки вместе — 450 000 т; пепел, распространившийся на большую площадь, — 1 750 000 т. Таким образом, оказалось, что именно тонкая вулканическая пыль, которую ветер мог уносить от вулканов на сотни и даже тысячи километров и которая могла выпадать тончайшим слоем на суше или на морском дне, была главным продуктом извержения вулкана.

В самом пирокластическо-грязевом потоке 60—70% составляли песок и гыль с частицами менее 1 мм в поперечнике. Частицы пепла (пыли), составившие основную массу извергнутого материала, имели в поперечнике 0,1 мм. Объем такой частицы приблизительно 0,001 мм³; поверхность — 0,06 мм². В глыбе плотной лавы объемом 1 м³ содержится 1 × 10¹² таких частичек. Их суммарная поверхность в 10 000 раз больше, чем поверхность плотной глыбы лавы такого же объема. Несомненно, при прочих равных условиях скорость изменения обломков лавы пропорциональна их поверхности и, следовательно, лава, распыленная силой расширяющихся газов в тонкий пепел, будет изменена в 10 000 раз быстрее, чем в плотном куске той же массы. Легкость пепла способствует его транспортировке воздушными течениями и водой и перемешиванию с морскими

и континентальными осадками различного происхождения.

Можно было бы привести еще много примеров, показывающих, что вулканическая пыль (пепел) служит основным продуктом вулканических извержений.

Сколько же пирокластического материала, главным образом вулканической пыли, извергают вулканы в среднем за год? Давайте подсчитаем. Для этого возьмем наиболее сильные извержения, происшедшие после 1800 г. (о более равных сколь-

Тамбора (вулкан острова Сумбава, Индонезия, 1815 г.) — 186 км³ пирокластического материала (средняя из ряда оценок).

Косегвина (Средняя Америка, 1835 г.) — 4,86

Кракатау (о-в Суматра, Индонезия, 1883 г.) — 18

Таравера (Новая Зеландия, 1886 г.) — 1, 5

Бандайсан (Япония, 1888 г.) — 1, 2

Сен-Марин (Гватемала, Средняя Америка, 1902 г.) — 5, 45

Ксудач (Камчатка, 1907 г.) — 3

Катмай (Аляска, 1912 г.) — 28

Севергина (о-в Харимкотан, Курильские о-ва, 1933 г.) — 1, 5

Безымянный (Камчатка, 1956 — 1961 гг.) — 3

Гувунг-Агунг (Индонезия, 1963 г.) — 1

Шивелуч (Камчатка, 1964 г.) — 1, 2

ко-нибудь точные сведения отсутствуют).

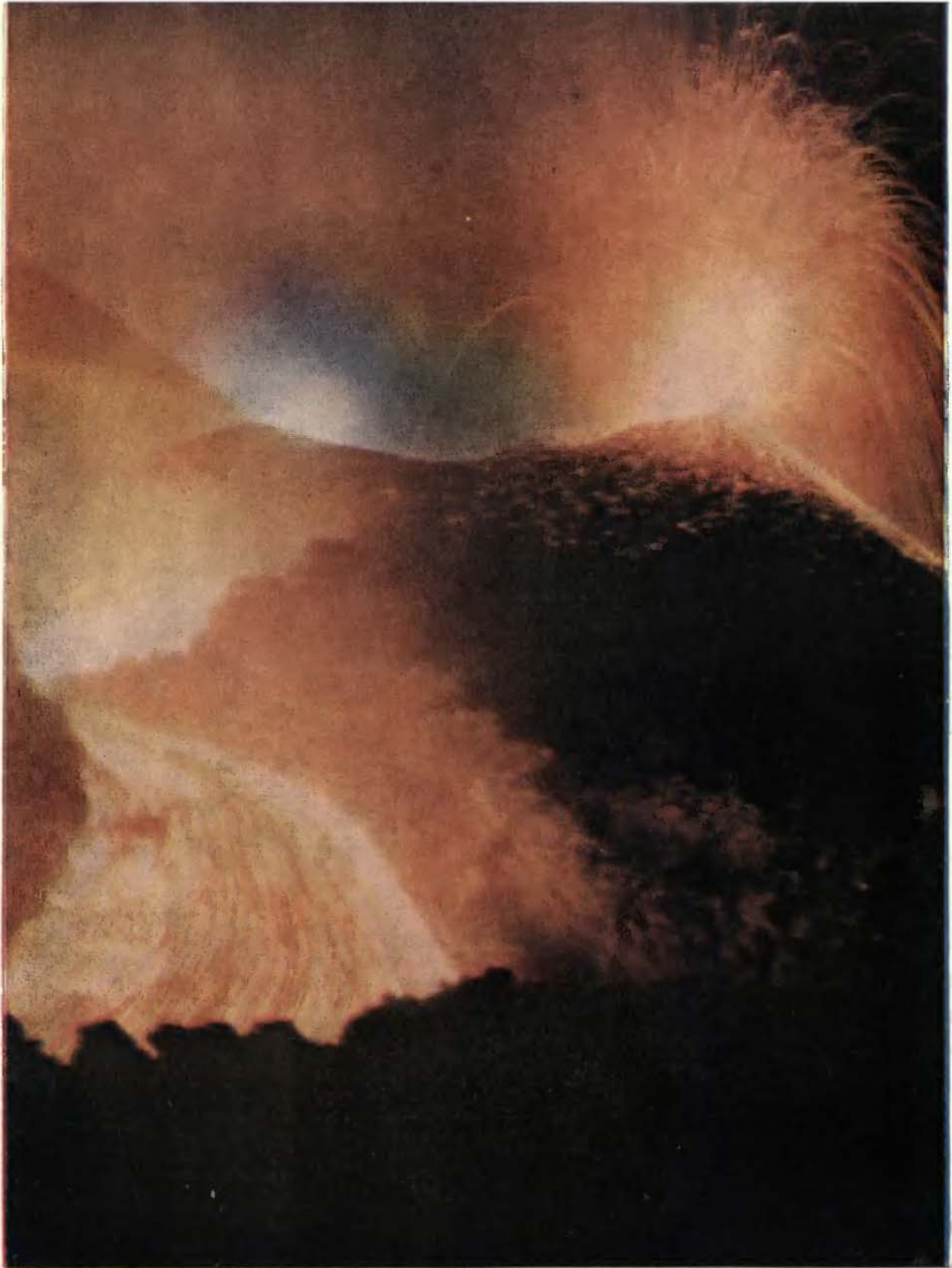
Всего вулканы извергли с 1800 г. 259,85 км³ пирокластического материала. При удельном весе 2 это составляет более 5 × 10¹¹ т, или 3 × 10⁹ т в год¹.

Итак, вулканы поставляют на поверхность Земли не менее 3 млрд т вулканической пыли в год. Возраст древнейших (архейских) пород, слагающих гранито-гнейсовые ядра материков, — миллиарды лет. Так, например, породы серии Киватин в Канаде имеют возраст более 3 млрд лет. Выходы архейских пород известны также в южной Индии, Антарктиде, Австралии, Африке, Гренландии, Скандинавии, а в Советском Союзе на Кольском полуострове, Украинском и Анабарском щитах. Значительная часть слагающих их кристаллических сланцев представляет собой глубоко измененные продукты архейского вулканизма. Если мы

¹ Эта оценка во всяком случае не завышена, так как многие извержения остались неучтенными. Например, из 180 извержений, зарегистрированных в этот период для Камчатско-Курильской дуги, мы приняли во внимание только 4 самых сильных и относительно хорошо изученных.



Террасы, выработанные временными потоками после 12 ноября 1964 г. в отложениях взрыва вулкана Шивелуч



Извержение побочного кратера Ключевской сопки (кратер Пийна) в ноябре 1966 г. Вулканические взрывы почти непрерывны. Из отверстия у подножия изливается лава... Из-за склона Ключевской сопки виден голубоватый диск Луны



Лавовый поток на фоне главного конуса Ключевской сопки /*сверху*/. Фронт лавового потока /*снизу*/

Фото В. Гинзбургера

рассмотрим геологическую историю Земли со времени образования этих древнейших пород до наших дней, то увидим, что не было такого отрезка времени, когда на территории современных материков не действовали бы вулканы. Возьмем, например, территорию Советского Союза.

Вот что пишет старейший советский вулканолог В. И. Влодавец: «...Максимальное развитие вулканической деятельности происходило в палеозое от Алтая, Казахстана и Средней Азии через Урал к Новой Земле... Мезозойские вулканы как бы окружили палеозойские. Они действовали на Земле Франца-Иосифа, на Сибирской платформе, на Кавказе и в Крыму. Кроме того, мезозойские вулканы распространились далеко на восток — вплоть до Тихого океана. В свою очередь, кайнозойские вулканы окаймляют на западе и в Закарпатье палеозойские вулканы Волыни, а на юге окружают и частично перекрывают мезозойские вулканы на Кавказе и Закавказье, а на востоке — в Приморье и Сихотэ-Алине, на Курильских островах, Камчатке и Авадыре»¹.

Большинство ученых считает, что в геологическом прошлом вулканическая деятельность была интенсивнее, чем в наши дни. Во всяком случае, в среднем она была не слабее. А если так, то за 4,5 млрд лет геологической истории Земли должно было накопиться более 13,5 млрд т вулканических продуктов, в основном, вероятно, вулканической пыли. Эта цифра сопоставима с массой всех материков ($14,5 \times 10^{19}$ т).

Но что такое масса материков и как ее определить? Масса материков — это масса их земной коры. Кора — это верхняя каменная оболочка Земли. Под континентами ее средняя толщина 35 км. Под океанами — только 5—6 км. От нижележащей оболочки Земли — так называемой мантии — кора отличается меньшими скоростями распространения сейсмических волн. В ней они

не превышают 7—7,5 км/сек, а на границе с мантией увеличиваются скачком до 8—8,5 км/сек. Этот сейсмический эффект был впервые замечен югославским ученым Мохорвичичем, поэтому и граница эта называется границей Мохорвичича.

Большинство геологов и геофизиков на основании известных на сегодня данных полагает, что кора под океанами состоит из плотной вулканической породы базальта, покрытого тонким слоем морских осадков.



Отложения грязевого потока (лахара) вулкана Шивелуч



Отложения пемзового андезита из палящих туч вулкана Шивелуч, образовавшиеся 12 ноября 1964 г. Вдали Ключевская группа вулканов

¹ В. И. Влодавец. Вулканы Советского Союза. Географгиз, 1949, стр. 158, 160.

процессов на поверхности Земли. Атмосферные агенты стремятся разрушить, выветрить их. Ручьи и реки размывают, переносят и откладывают на новом месте вулканические породы, и они постепенно превращаются в породы осадочные.

Огромную работу по перерождению пеплов, шлаков, пемз, бомб, лавовых потоков производят горячие кислые воды вулканических источников — гидросольфатары. Например, на Курильских островах дебит агрессивных серной и соляной кислот, содержащихся в термальных водах, ежедневно составляет сотни тонн. Десятки тонн железа и алюминия, которые ежедневно выносятся горячими кислыми ручьями в море, свидетельствуют о том, что каждый день равагаются тысячи и десятки тысяч тонн вулканических пород. Андезитовое¹ однообразие горных пород, поставляемых вулканами из глубоких недр Земли, на поверхности, т. е. в условиях развития осадочного процесса, нарушается. Вынос термальными водами огромных масс глинозема и кремнезема в результате химических реакций приводит к образованию глин. Поступление в море больших масс растворенной кремниевой кислоты (в районе, например, Курильских островов — сотни тонн в сутки) дает возможность развиваться огромному количеству диатомовых водорослей и способствует накоплению биогенного кремнезема. Благодаря деятельности гидросольфатар с берегов вулканических островов в море ежедневно поступают сотни и тысячи тонн кальция, что в условиях благоприятного климата дает возможность для широкого развития организмов с известковистым цементом и накопления толщ известняков.

Осадочные породы, попав в условия высоких температур и давлений, преобразуются в породы метаморфические и иногда до такой степени видоизменяются, что их невозможно отличить от пород, которые возникли из магмы, раскристаллизовавшейся на глубине.

Глубокому изменению, метаморфизму, пород способствуют также газо-водные растворы, поднимающиеся из глубин Земли по тем же разломам, по которым поднимается магма, по многочисленным трещинным зонам, сопровождающим их, и через поры пород. Такая широко известная и распространенная порода, как гранит, как выяснилось, может образоваться и в результате кристаллизации магмы на некоторой глубине от поверхности, и в результате глубокого метаморфизма осадочных пород.

Метаморфические породы, обнажаясь на поверхности Земли, также подвергаются разрушению и размыву и тоже превращаются в осадочные. Таким образом, круг замыкается. Но, несомненно, первоисточником горных пород земной коры служили и служат магматические породы, и в первую очередь продукты взрывных вулканических извержений.

Помимо вещества, выплавляющегося из мантии и поступающего на поверхность Земли при вулканических извержениях, на Землю падает вещество из космического пространства. Каково же соотношение вещества вулканического и метеоритного происхождения на поверхности нашей планеты?

Известный специалист по метеоритам Е. Л. Кринов оценивает ежедневный приток массы Земли за счет метеоритов в 10—20 т. Профессор Б. А. Воронцов-Вельяминов считает, что если с тех пор, как Земля затвердела, метеоры и метеориты падали так же часто, как теперь, то на каждый квадратный километр поверхности выпало по 10 тыс. т метеоритного вещества, что составляет слой менее 10 см толщины. Таким образом, из космоса на поверхность Земли поставляется приблизительно лишь одна миллионная доля вещества, поступающего из недр мантии при вулканических извержениях.

Древние слои земной коры часто бывают смяты в крутые складки. Почему?

Интенсивность современной вулканической деятельности в масштабах геологической истории планеты

обеспечивает образование в основном из производных от вулканических продуктов пород всей земной коры, т. е. слоя вещества от границы Моховичича (М) до поверхности Земли.

Если учитывать этот факт, мы можем предполагать, что граница Моховичича — это первоначальная поверхность земного шара, поверхность, которую он имел на заре своей геологической истории. В результате вулканической деятельности, выноса вещества из мантии и отложения его на этой поверхности, постепенно формировалась земная кора, а радиус сферы М соответственно сокращался. В течение геологической истории радиус сферы М должен был сократиться в среднем на 12,5 км, а ее площадь — на 12 млн км², при этом средний радиус планеты мог оставаться приблизительно неизменным.

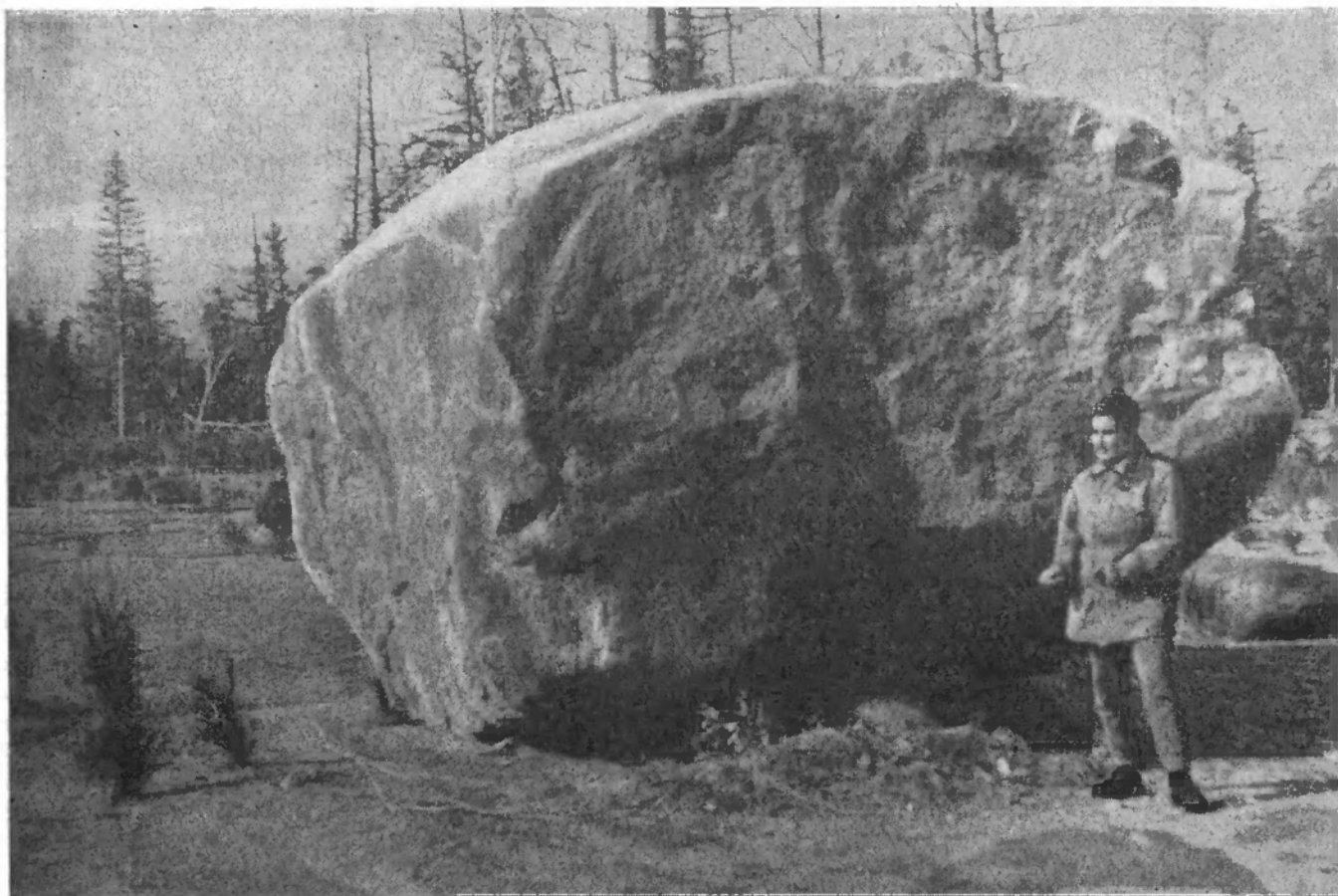
Вулканы распределялись и распределяются на поверхности Земли неравномерно, вынос огромных объемов вещества вулканическими извержениями приурочивался к линейно расположенным зонам, поэтому естественно, что и сжатие, контракция поверхности М и прилегающих к ней слоев должны были происходить неравномерно во времени и в пространстве. Локальная контракция поверхности М и прилегающих к ней слоев в ответ на вынос вулканами огромных объемов вещества из мантии — вот, на наш взгляд, основная причина образования складок в земной коре.

ВУЛКАНИЗМ И ОКЕАНЫ

Работу вулканических взрывов производит содержащийся в магме газ, в основном водяной пар. Определив энергию вулканического взрыва, можно оценить количество газа, которое высвободилось из магмы при взрыве. Согласно произведенным подсчетам, в среднем оно близко к 3% от веса магмы. Другими словами, приблизительно 3% от общего количества продуктов вулканических извержений составляет девственная вода.

Мы уже говорили, что исходным материалом для образования земной

¹ Андезит — вулканическая порода, главный продукт извержений.



Один из обломков вулкана Шивелуч, вынесенный лахаром 12 ноября 1964 г.

коры континентов служили в основном продукты вулканических варивов. Известно, что дно океанов сложено вулканической породой — базальтом. Известно, что на дне только Тихого океана насчитывается более 10 000 вулканов. Таким образом, мы имеем право исходить из того, что все вещество земной коры, в конечном итоге, — вулканического происхождения. Масса земной коры близка к $24,6 \times 10^{18}$ т. Учитывая, что при вулканических извержениях из магмы в среднем выделяется 3% воды, находим, что за время формирования земной коры на поверхность Земли из мантии при извержениях должно было поступить $7,4 \times 10^{17}$ т воды. Это значит, что ежегодный средний «приток» вулканической воды равен $1,3 \times 10^8$ т.

Масса воды в Мировом океане составляет $14,4 \times 10^{17}$ т, т. е. 97% всей воды в гидросфере. Следовательно, около половины воды гидросферы создано вулканическими извержениями. Другую половину, по-видимому, составляет вода, сброшенная магмой при ее подъеме к поверхности, поступающая с фумаролами¹ и горячими источниками.

Почему морская вода соленая? В морской воде растворена масса разнообразных солей. В виде ионов в ней главным образом содержится хлор, натрий, четырехокись серы, магний, кальций, калий, бром, фтор, железо и алюминий (всего более 70 химических элементов).

¹ Фумаролы — струи горячих паров и газов на склонах и у подножий вулканов.

Свежие вулканические пеплы содержат много легко растворимых солей натрия, калия, кальция, магния. Выпадая на поля, они играют даже роль минеральных удобрений. По данным сотрудников Института вулканологии СО АН СССР Л. А. Башариной, в каждом 100 г свежего пепла вулкана Безымянного содержится в легко растворимых соединениях (в миллиграммах):

Хлора — от 76 до 530
 Натрия — от 10 до 124
 Брома — от 1,2 до 2,1
 Фтора — от 1,5 до 6,7
 Четырехокиси серы — от 237 до 938
 Магния — от 17,3 до 38,8
 Кальция — от 84 до 489
 Калия — от 2,4 до 34,5
 Железа — от 3,1 до 13,8
 Алюминия — от 3,5 до 21,0
 Угльной кислоты — от 12,0 до 104
 Борной кислоты — от 1,5 до 4,2

За геологическую историю из адсорбированных пеплами легко растворимых солей могло быть вымыто и вынесено в море (в миллионах миллиардов тонн):

Хлора — от 18,7 до 130
 Натрия — от 2,5 до 30
 Четырехокиси серы — от 58 до 230
 Магния — от 4,3 до 9,5
 Кальция — от 25 до 120
 Калия — от 4,9 до 8,5
 Брома — от 0,3 до 0,5
 Фтора — от 0,4 до 1,6
 Железа — от 0,8 до 3,5
 Алюминия — от 0,9 до 5,2
 Угольной кислоты — от 3,0 до 25,6
 Борной кислоты — от 0,4 до 1

Этих количеств с избытком хватает для того, чтобы образовать в основном, как говорят ученые, «солевой состав» морской воды.

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ГАЗЫ

Воздух, которым мы дышим, совсем не похож на вулканические газы, тем не менее свою родословную он ведет от них.

В составе основных газов активных вулканов с температурой на выходах от 95 до 760° С пары воды составляют от 88 до 99,6%. Оставшиеся 12—0,4% приходятся в основном на хлористый водород, сернистые газы, углекислый газ, водород, сероводород и азот. Эти газы выделяются в различных пропорциях, которые зависят главным образом от температуры. В низкотемпературных струях отсутствуют водород, хлористый водород, сернистый газ. Из перечисленных газовых компонентов нас в данном случае интересуют два — азот и углекислый газ. Их можно обнаружить во всех выходах вулканических газов, от наиболее высокотемпературных до самых низкотемпературных.

Вулканический азот и углекислый газ — постоянные источники главных газов атмосферы: азота и кислорода.

При отборе вулканических газов в пробы почти неизбежно попадает воздух. Поэтому из данных анализа обычно исключают весь кислород и тот азот, который находится с ним

в «воздушном» соотношении. Но почти всегда наблюдается избыточный азот. Некоторые исследователи склонны и этот азот считать воздушным, полагая, что часть кислорода воздуха, попавшая в пробу, расходуется на окисление.

Оценить, какая часть азота в пробе ювенильная, вулканическая, трудно. Но само наличие в пробах ювенильного азота не вызывает сомнений у вулканологов, специально занимающихся проблемой состава вулканических газов.

Немало азота поступает из недр Земли в соединении с водородом в виде аммиака.

Хорошо известно, что из углекислого газа в процессе фотосинтеза постоянно выделяется кислород. А ведь углекислый газ — это важнейший компонент вулканических газов; поэтому можно говорить о вулканическом происхождении и атмосферного кислорода.

Хочется обратить внимание на некоторые любопытные соотношения. Отношение веса атмосферы к весу гидросферы и к весу литосферы равно 1 : 300 : 5000. Отношение газов, воды и твердых продуктов в вулканических извержениях приблизительно 1 : 3 : 100.

Эти отношения сильно различаются по двум основным причинам. Во-первых, только около половины всей воды гидросферы могло быть создано вулканическими извержениями. Во-вторых, только ничтожная часть газов, поставляемых извержениями на поверхность Земли, пошла на формирование атмосферы. Большая часть их превратилась в твердые вещества (углерод, сера) или была растворена в воде (хлористый водород, сернистые газы).

Влияние отдельных, даже самых сильных, извержений на состав воздуха сказывается в общем мало. Наиболее ярко влияние вулканизма на атмосферу проявляется в возмущениях вечерних и утренних зорь. Профессор Г. В. Розенберг отмечает, что в прошлом столетии глобальные возмущения зорь отмечались не ме-

нее 20 раз, и каждый раз — после сильных извержений.

Особое внимание на необычность зорь было обращено после извержения вулкана Кракатау на острове Суматра 27 августа 1883 г. Согласно современным исследованиям, слой, с которым связано явление зари — заревой слой, — лежит на высоте приблизительно 19 км. «Усиление» заревого слоя происходит в результате вторжения в стратосферу вулканического сернистого газа. Общее содержание серы в заревом слое составляет около 10 000 т. Для поддержания слоя необходимо подновление его вещества не более нескольких раз в год, что вполне обеспечивается газовыделениями вулканов.

Итак, мы приходим к выводу, что бурное развитие жизни на Земле и постоянное увеличение массы органического вещества на планете было бы невозможным без постоянного притока вулканических газов на ее поверхность. Именно содержащиеся в вулканических газах углерод и сера являются исходным материалом для образования месторождений угля, нефти и горючего газа.

Если обратиться к извержению Ключевского вулкана осенью 1966 г., с описания которого мы начали статью, то можно заметить, что в составе высокотемпературных фумарол соединения углерода составляли от 34 до 94% газа (без воды и воздуха). Всего, по самым скромным подсчетам, их выделилось не менее 300 000 т. Но ведь это было сравнительно слабое извержение. Еще больше соединений углерода выделилось из магмы при извержениях Шивелуча в 1964 г. и Безымянного в 1956 г., а за всю геологическую историю несомненно составило внушительную цифру.

Таким образом, нельзя не прийти к выводу, что роль вулканических извержений в образовании не только земной коры, но и других оболочек Земли, чрезвычайно велика.

УДК 551.21