

Е. МАРХИНИИ

**ВУЛКАНИ-
ЧЕСКАЯ
ГИПОТЕЗА...**

ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ 1967

20.

КАМЧАТСКИЙ ОТДЕЛ
ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА СССР

Е. МАРХИНИН

**ВУЛКАНИЧЕСКАЯ
ГИПОТЕЗА
ОБРАЗОВАНИЯ
ЗЕМНОЙ
КОРЫ,
ГИДРОСФЕРЫ
И
АТМОСФЕРЫ**

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ КНИЖНОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

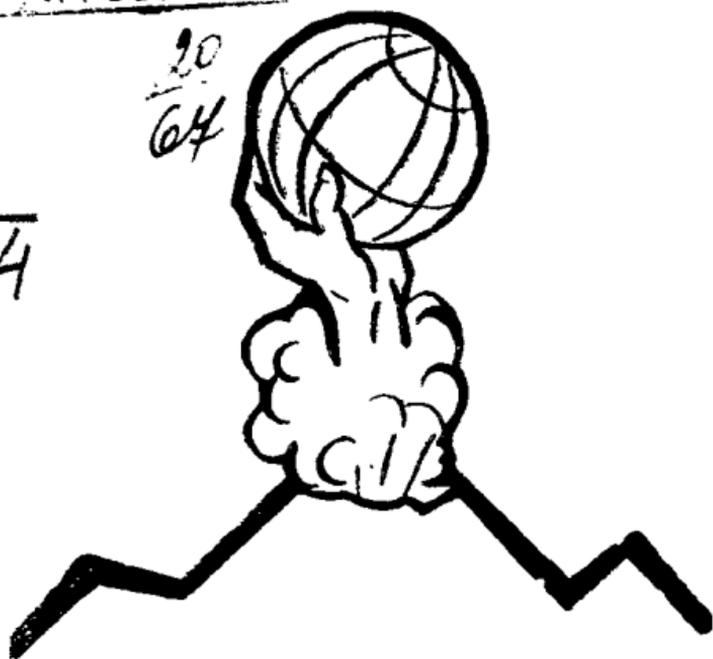
Петропавловск-Камчатский,
1967

У877

Б1

7014

20
64



Как и из чего в течение геологической истории Земли сформировались континенты и дно океанов?

Откуда в океане вода? Почему она соленая? Воздух, которым дышим, как он образовался? Углерод — основа жизни на Земле — какие процессы приводят к его накоплению на поверхности планеты? На все эти вопросы отвечает вулканическая гипотеза образования земной коры, гидросферы и атмосферы, изложенная автором в предлагаемой брошюре очень популярно.

Брошюра, написанная специалистом-вулканологом, рассчитана на самый широкий круг читателей.



НА БЕРЕГУ ОГНЕННОЙ РЕКИ

Выйдя в темноте на очередной гребень, мы вдруг увидели ослепительно-белую лавовую реку. В первый момент она показалась мне неподвижной, но, приглядевшись, я заметил, что она течет. И течет быстро. Не задерживаясь на гребне, мы с кинооператором Олегом Максимовым заторопились вперед и скоро уже лезли по шлаковым глыбам ранее излившихся и уже остывших порций потока к большому черному камню, который Олег назвал «Стулом». Отсюда вид на лавовую реку оказался превосходным! Впереди, в истоках, она текла по крутому склону и сверкала белизной раскаленного металла. Ниже от нее отходил рукав огненно-красной лавы, которая текла под нами в нескольких метрах. Текущая лавовая река производила своеобразный шум, больше всего напоминающий шум сильного дождя. Мы забрались на глыбовый полуостывший борт

пстока и смотрели на движущуюся под нами лаву. Стенки нашего берега местами нависали над потоком. Иногда они с шумом обрушивались на текущую лаву, поднимая облачко озаренного красным светом пепла. Долго стоять на краю обрыва над лавовой рекой было невозможно из-за жара, но мы долго стоять здесь и не собирались — нас манил сам исток реки, то отверстие, откуда она начинала свой путь, и где она была наиболее горячей и подвижной. Исток находился у основания нового, так называемого паразитического шлакового конуса, выросшего на северном склоне Ключевского вулкана в течение последних полутора месяцев. Кратер этого конуса каждые две-три секунды выбрасывал на высоту нескольких сотен метров огромные пригоршни раскаленного шлака. Отверстие, из которого изливалась лава, не оставалось в течение извержения на одном месте. Еще недавно оно было несколько выше, лава изливалась прямо из-под шлакового конуса. Нам предстояло пройти по горячей, но уже покрытой прочной 50—70-сантиметровой коркой лаве, сохранившейся между ранее существовавшим и вновь возникшим лавовыми ис-

токами. Корка растрескалась на многочисленные неправильные многоугольники, отделенные друг от друга зияющими трещинами шириной 10—15 см. Трещины эти дышали жаром, а лава в них была накалена до желто-красного цвета. На поверхности лавовых блоков запечатлелись линии течения, напоминающие канаты. Идти по этой горячей лаве было впрочем очень удобно, так как не было обычных для остывших потоков лавовых торосов. Ниже нас находилось начало огненной реки, выше — непрерывно действующий кратер, взметающий фейерверками тысячи красных бомб. Но до нас они не долетали. Наконец, мы достигли правого берега. Борта реки здесь крутые, высокие и кажутся достаточно прочными. Мы выбираем один из мысов, с которого виден исток. Оттуда, как ручей из родника, начинается поток раскаленного до бела жидкого камня. Вот он течет под нами. Он широк, как шоссе, и быстр, как горная река. Он настолько ярок, что слепит глаза, и здесь, на его берегу, в 10—12 метрах от него — светло, как днем. На таком расстоянии незащищенное лицо уже обжигает...

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. По языкам полузастывшей лавы, местами перехлестнувшей через борта, и расползшихся от них языками, мы видим, что это совсем недавно уже случилось. На всякий случай прикидываем в уме возможные пути отступления — в такой ситуации это не лишне. Реальная опасность может возникнуть не только, если лава начнет переливаться через борта ее каменного берега, но даже более вероятно в том случае, если вздутая волна по середине потока вдруг выплеснет на высоту нескольких десятков метров огненные фонтаны и рассыплет их по берегам множеством раскаленных ошметков. Мы стоим на относительно старой лаве, представляющей берега; корка на ней потрескалась, и трещины выглядят кроваво-красными швами. Пути отступления у нас открыты — в случае чего мы сможем отбежать от раскаленной реки

туда, где лежат уже пятна снега и где нас вряд ли достигнут даже бомбы. Но ничего страшного не происходит. Огненно-белая река течет и течет, и диву даешься: как же много изливается расплавленного камня!

Это извержение началось 6 октября 1966 г., а к 20 ноября (число, к которому относятся вышеописанные впечатления) объем излившейся лавы составил около 100 000 000 м³. Образовался значительный шлаковый конус и немало пепла выпало вдали от вулкана.

А газы? Сколько газов высвободилось из магмы при взрывах! Сколько с пеплами было вынесено легко растворимых в воде солей!

Подобного рода извержения происходили на склонах Ключевской сопки и в прежние годы, например, в 1956, 1952, 1947, 1945, 1938 годах. Извергалась она в последнее время и из огромного вершинного кратера. Но все эти извержения были относительно слабыми, как бы эффектно они не проявлялись.

Последнее, действительно сильное извержение произошло на Камчатке 12 ноября 1964 года.



ХАОС КАМНЕЙ

Неужели эти горы-купола так-таки взлетели на воздух? Их больше нет — ни купола с центральными фумаролами, ни Суелича, ни даже Арбузика. Вместо них — огромный пологий кратер. Со дна его поднимаются густые клубы пара. А где же наш рубленый домик, наша база у подножия Шивелуча* с ее походным уютом и неизменной «домовой книгой»? Она погребена под многометровым слоем камней и вулканической пыли.

Я стою, прильнув лицом к иллюминатору в борту самолета и со смешанным чувством горечи (пропала база и так изувечены «родные» места), удивления и профессионального интереса смотрю вниз. Сопоставляю, что тут было до этого гигантского извержения, с тем, что вижу сейчас. Воспоминания... Должно быть, они берегут душу и директора ин-

* Шивелуч — самый северный действующий вулкан на Камчатке.

ститута вулканологии Бориса Ивановича Пийпа, который стоит рядом и молча делает пометки на топографической карте.

Уже несколько часов мы кружим над вулканом. В самолете свистит ветер, потому что с люка снята крышка для аэрофотосъемки, и то и дело кто-нибудь открывает иллюминаторы, чтобы фотографировать обычным фотоаппаратом.

Мы делаем круги на разной высоте. Когда идем низко, видим хаос огромных камней, глыб льда и поломанных деревьев. Когда поднимаемся высоко, нам открывается картина обширного каменного покрова, распространившегося от кратера на 15—16 км и занявшего площадь, по предварительной оценке, 70 квадратных километров. На нем видны борозды, протянувшиеся сверху вниз, и поэтому с большой высоты он немного напоминает вспаханное поле. Местами вдоль борозд протягиваются белые дымки фумарол. Покров выровнял рельеф, перекрыв овраги, глубина которых достигла десятков метров. Он внедрился в лес на 5—6 км, уничтожив и засыпав деревья.

Наш полет состоялся через 2 дня после извержения. Оно случилось 12 ноя-

бря 1964 г. Предвестником пробуждения вулкана были сейсмические толчки. Первое землетрясение произошло еще в январе. В мае их было зарегистрировано 47. После некоторого спада в июне — сентябре сейсмическая активность вулкана снова усилилась. С 17 октября землетрясения начали отмечаться ежедневно. Число их росло с каждым днем. За 10 часов до начала извержения подземные толчки следовали почти непрерывно. Большинство их были слабыми, но несколько наиболее сильных в ночь с 11 на 12 ноября ощущались жителями окрестных поселков. Других предвестников извержения не было. Вулканолог А. Е. Святловский, совершивший подъем на купол Суелич 11 июля, записал, что вулкан продолжает находиться в спокойном состоянии и изменений в режиме фумарол не заметно.

Начавшееся рано утром 12 ноября 1964 г. извержение сразу же приняло пароксизмальный характер и протекало чрезвычайно напряженно в течение несколько более одного часа. По данным микробарографов — приборов, записывающих воздушные волны, — сильные взрывы начались в 7 часов 07 минут и продол-

жались до 8 часов 17 минут, а затем резко прекратились. В то же время и так же резко прекратились и землетрясения.

Грандиозное извержение Шивелуча наблюдалось многими жителями ближайших поселков — Ключей, Козыревска и расположенного в устье реки Камчатки на берегу Тихого океана поселка Усть-Камчатска.

Преподаватель Харьковского политехнического института О. Д. Руднев незадолго до этого обморозивший себе ноги при подъеме на Ключевскую сопку и в результате оказавшийся в ключевской больнице, описывает извержение следующим образом:

«Первое наблюдение было произведено около 7 ч. 15 минут. Шума и грохота в помещении слышно не было. Общая картина была такова: с левой стороны кратера пробивался узкий столб пламени с небольшим отблеском вправо. Кратер явно был ниже вершины вулкана. Огромная черная туча поднималась из него на высоту 11—12 км. Ее шапка светло-серого оттенка заворачивалась в сторону Ключей. От центра тучи к краям расходились очень широкие и яркие молнии. Минут через 15 огненные полосы

исчезли. Стало видно, что туча движется по ветру на восток. В ней все время вспыхивают «окна» пламени. Они похожи на вспышки при горении керосина, только диаметр их больше полукилометра. Постепенно вулканический гриб принимает бесформенные очертания. Слабо видно движение по склону раскаленного материала. Скорость его свыше 20 км в час».

Из Усть-Камчатска извержение Шивелуча наблюдала дежурный-наблюдатель гидрометеостанции Е. Пылкова. Согласно ее сообщению, в 7 час. 0,5 минут над вулканом было замечено белое клубящееся облако с размытым основанием, из центра которого пробегала молния, расходясь в стороны отдельными ветвями, а внизу под облаком при вспышках молний полыхали красные сполохи. Облако росло, темнело, клубилось, постепенно надвигаясь на Усть-Камчатск. Вспышки молний усиливались. К 8 час. 20 мин. черная туча закрыла почти весь небосвод. Из нее на поселок начал падать крупный вулканический песок, запахло сернистыми газами. К 8 час. 30 мин. Усть-Камчатск погрузился в непроглядную тьму, прорываемую молниями

через 20—40 секунд. Стоял непрерывный грохот и треск. К 11 часам дня все эти явления постепенно прекратились. За 2—3 часа на каждый квадратный метр в поселке выпало по 27 кг пепла.

Северо-западный ветер гнал пепловые тучи к Командорским островам. Много пепла падало в море.

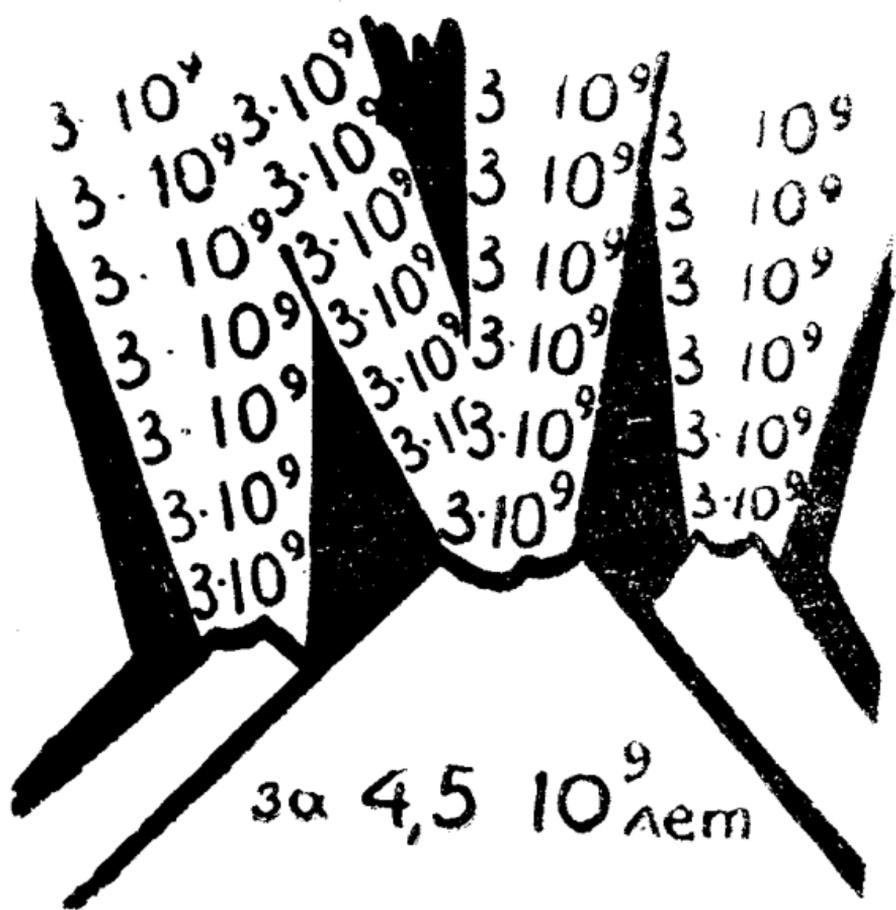
В это время Камчатское управление Гидрометеослужбы в Петропавловске получило следующую телеграмму с теплохода «Аральск»: «12 ноября в 9 час. 30 мин. вошли в густой пеплопад. Темно, как ночью. Видимость 14 кабельтовых. Перед вхождением в пеплопад наблюдались сильные молнии».

А теплоход «Николаевск» радировал в Камчатское пароходство: «На подходе к Усть-Камчатску в 9 час. 30 мин. стала наблюдаться темная пелена. Повернул обратно в море».

На Командорах слабый пеплопад начался лишь после часа дня и продолжался до 5 часов вечера. На каждый квадратный метр выпало по 2 кг пепла.

Площадь пеплопада по ориентировочной оценке превысила 100 000 км², а общее количество пепла составило около миллиарда тонн!

Если прибавить сюда камни и пыль лавин, образовавших наблюдавшийся нами с самолета покров, то получим массу выброшенного вулканом материала — 2,5—3 миллиарда тонн! И это в течение одного часа! Это было сильное извержение, но бывают они и во много раз сильнее.



за $4,5 \cdot 10^9$ лет

$\sim 13,5 \cdot 10^{18}$ тонн

массе всех континентов

ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ПЫЛЬ И ЗЕМНАЯ КОРА

Б лагодаря вулканическим извержениям с больших глубин выносятся 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 покажется странным. Но именно к такому выводу приводят следующие факты.

Свыше 9/10 массы продуктов, извергаемых современными вулканами, составляет пирокластический, в буквальном переводе огненно-обломочный материал, в котором основное значение имеет вулканическая пыль. Возьмем к примеру, извержение камчатского вулкана Безымянного весной 1961 г. При этом извержении отложения раскаленной тучи «пирокластический поток» вызвали в результате интенсивного таяния снега образование грязевого потока. Общая длина пирокластического и грязевого потоков составила около 30 км. С лавовой горы, запечатавшей кратер вулкана, скатилось множество огненных лавин и из поднявшихся на высоту нескольких километров пылевых туч выпал пепел, который тонким слоем (несколько миллиметров) покрыл площадь в 7 000 км².

Тщательный подсчет количества выброшенного вулканом вещества дал такие результаты: пирокластический и грязевой потоки вместе — 450 000 тонн. Пепел, распространившийся на большую площадь, — 1 750 000 тонн. 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% приходилось на песок и пыль 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 1×10^{12} 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, распы-

ленная силою 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 года (о более ранних сколько-нибудь точные сведения обычно отсутствуют).

Вулкан Тамбора (остров Сумбава, Индонезия, 1815 г.) — 186 км^3 (средняя из ряда оценок).

Вулкан Косегвина (Средняя Америка, 1835 г.) — $4,86 \text{ км}^3$.

Вулкан Кракатау (о. Суматра, Индонезия, 1883 г.) — 18 км^3 .

Вулкан Таравера (Новая Зеландия, 1886 г.) — $1,5 \text{ км}^3$.

Вулкан Бандайсан (Япония, 1888 г.) —
1,2 км³.

Вулкан Сен-Марин (Гватемала, Сред-
няя Америка, 1902 г.) — 5,45 км³.

Вулкан Ксудач (Камчатка, 1907 г.) —
3 км³.

Вулкан Катмай (Аляска, 1912 г.) —
28 км³.

Вулкан Севергина (о. Харимкотан, Ку-
рильские острова, 1933 г.) — 1,5 км³.

Вулкан Безымянный (Камчатка, 1956
— 1961 гг.) — 3 км³.

Вулкан Гунунг-Агунг (Индонезия,
1963 г.) — 1 км³.

Вулкан Шивелуч (Камчатка, 1964 г.)
— 1,2 км³.

Итого: 259,85 км³.

При удельном весе 2 это составляет
более 5×10^{11} тонн, или 3×10^9 тонн в год.
Эта оценка во всяком случае не завы-
шена, так как многие извержения оста-
лись не учтенными. Например, из 180
извержений, зарегистрированных в этот
период для Камчатско-Курильской дуги
мы приняли во внимание только 4 самые
сильные и относительно хорошо изучен-
ные. Итак, вулканы поставляют на по-
верхность земли не менее 3 миллиардов
тонн вулканической пыли в год!

А сколько лет действуют на Земле вулканы? Возраст древнейших (архейских) пород, слагающих гранито-гнейсовые ядра материалов — миллиарды лет. Так, например, породы серии Киватин в Канаде имеют возраст около 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. Установлено, что значительная часть слагающих их кристаллических сланцев представляет собой глубоко измененные продукты архейского вулканизма. Если мы 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, к примеру, 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, в Закавказье и на востоке — в Приморье и Сихотэ-Алине, на Курильских островах, Камчатке и Анадыре».

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 миллиарда лет геологической истории Земли должно было накопиться более 13,5 млрд. миллиардов тонн вулканических продуктов, в основном, вероятно, вулканической пыли. Эта цифра сопоставима с массой всех материков ($14,5 \times 10^{18}$ тонн).

Что такое масса материков и как ее определить? Под массой материков мы понимаем массу 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. На границе с мантией увеличиваются скачком до 8—8,5 км/сек. Этот сейсмический эффект был впервые замечен югославским ученым Мохоровичичем. Поэтому и граница эта называется границей Мохоровичича или поверхностью М.

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.

Такие крупные геофизики как Юинг, Пресс, Вилсон, Джекобс, Рассел, пришли к выводу, что кора континентов имеет в основании тот же слой океанического базальта, который перекрыт в среднем 30-километровой толщей метаморфических (измененных и перекристаллизованных при высоких давлениях и температурах) и осадочных горных пород.

Как же на океаническом базальте возникла эта толща метаморфических и осадочных пород, формирующая современные континенты? Для того, чтобы ответить на этот вопрос надо обратиться к той области на Земле, где процесс превращения тонкой океанической коры в толстую континентальную происходит в настоящее время — это Тихоокеанское огненное кольцо. В течение многих лет автор изучал его часть — Курильскую островную дугу, ее геологическое строение и вулканизм.

Под грядой Курильских островов проходит генеральная наклонная «зона скалывания», простирающаяся вглубь Земли на 700 км, как об этом можно судить по расположению очагов землетрясений.

Источники магмы под вулканами находятся в интервале глубин 80—150 км, где соотношение между температурой и давлением наиболее благоприятно для расплавления пород. Затухание поперечных сейсмических волн под вулканами на этих глубинах свидетельствует о наличии здесь расплавленного вещества — магмы. По трещинам-расколам магма из очагов, где она образуется, поднимается к поверхности Земли и извергает-

ся вулканами. Продукты извержений, главным образом вулканическая пыль, в больших количествах поступают к прилегающим к островам Южно-Охотскую котловину и Курильский глубоководный желоб и наслаиваются на коре океанического типа. Так тонкая океаническая кора постепенно превращается здесь в толстую континентальную. Возникновение Курильского глубоководного желоба и его углубление компенсирует вынос огромного количества вещества из мантии при извержениях.

Непосредственно под островами кора имеет строение, переходное от океанического типа к континентальному. Весь 12-километровый доступный изучению геологический разрез островов от самых древних отложений до современных состоит либо непосредственно из продуктов вулканических извержений, либо из материала их переработки и переотложения. Самые древние известные на Курильских островах осадки имеют возраст всего 83 миллиона лет. Расчеты показывают, что за этот весьма короткий геологический отрезок времени при интенсивности вулканизма, равной современной (на Курилах приблизительно

0,08 км³ твердого вещества в год), в области Курильской островной дуги мог быть сформирован весь избыточный против океанического типа объем коры.

Процесс роста земной коры (превращение тонкой коры океанического типа в толстую кору континентального типа за счет вулканических продуктов), наблюдающийся сейчас в области Курильской островной дуги, в те или иные отрезки геологической истории происходил повсюду на материках. Вот почему, как это ни парадоксально звучит, мы можем утверждать, что в конечном счете в течение геологической истории Земли материка были созданы в основном за счет вулканической пыли и продуктов ее переработки. Кстати сказать, средние химические составы вулканической пыли и континентальной земной коры весьма близки.



**КРУГОВОРОТ ГОРНЫХ ПОРОД.
ЗНАЧЕНИЕ МЕТЕОРИТОВ.
ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНОВ
— ПРИЧИНА ОБРАЗОВАНИЯ
СКЛАДОК В СЛОЯХ
ЗЕМНОЙ КОРЫ**

При всем этом, многие горные породы, которые слагают континенты, совсем не похожи на продукты вулканических извержений. Это потому, что изверженные вулканами на поверхность Земли крупные и мелкие лавовые обломки и потоки сейчас же поступают в неутомимый круговорот. Атмосферные агенты стремятся разрушить, выветрить их. Ручьи и речки 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. Так, 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, говорят о том, что каждый день ими разлагаются тысячи и десятки тысяч тонн вулканических пород. Андезитовое* однообразие горных пород, поставляемых вулканами из глубоких недр Земли нарушается в поверхностных условиях, в условиях развития осадочного процесса. Вынос термальными водами огромных масс глинозема и кремнезема приводит в результате химических реакций к образованию глин. Поступление в море больших масс растворенной кремнекислоты (в районе, например, Курильских островов — сотни тонн в сутки) дает возможность развиваться огромному количеству диатомовых водорослей и способствует накоплению биогенного кремнезема. Благодаря деятельности гидросульфатар с берегов вулканических островов в море ежесуточно поступают сотни и тысячи тонн кальция, что в условиях благоприятного климата дает возможность широкому развитию организмов

* Андезит — вулканическая порода, главный продукт извержений.

с известковистым цементом и накоплению толщ известняков.

Разнообразие горных пород обусловлено именно осадочными (а не магматическими) процессами.

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.

Глубскому 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, может, как выяснилось, 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, что 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 прирост массы Земли за счет метеоритов в 10—20 тонн. 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 тысяч тонн метеоритного вещества, что составляет слой менее 10 см. толщины.

Отсюда следует, что 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 поверхности М до поверхности Земли.

Если учитывать этот факт, мы можем предполагать, что поверхность М — это первоначальная поверхность земного шара, поверхность, которую он имел на заре своей геологической истории. В результате вулканической деятельности, выноса вещества из мантии и отложении 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 миллионов км², при этом средний радиус планеты мог оставаться приблизительно неизменным.

Вулканы распределяются и распределялись на поверхности Земли не равномерно, а локально, вынос огромных объемов вещества вулканическими изверже-

ниями 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 основная причина образования складок в земной коре.



ОТКУДА В ОКЕАНЕ ВОДА?

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 ряду произведенных оценок, оно в среднем близко к 3% от веса магмы.

Другими словами, приблизительно 3 процента от общего количества продуктов вулканических извержений составляет девственная вода.

Мы показали выше, что исходным материалом для образования земной коры континентов служили в основном продукты вулканических взрывов. Известно, что дно океанов сложено вулканической породой — базальтом. По данным Менарда, 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 $24,6 \times 10^{18}$ тонн. Учитывая, что при вулканических извержениях из магмы в среднем выделяется 3% воды, находим, что за время формирования земной коры на поверхность Земли из мантии должно было поступить при извержениях $7,4 \times 10^{17}$ тонн воды. Это значит, что ежегодный средний «приток» вулканической воды $1,3 \times 10^8$ тонн.

Масса воды в мировом океане $14,4 \times 10^{17}$ тонн. Известно, что она составляет 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 фумаролами* и горячими источниками.

Почему морская вода соленая?

В морской воде растворена масса разнообразных солей. В ней главным образом в виде ионов содержится (в миллионах миллиардов тонн):

Хлора — 27,2.

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

Натрия — 15,1.

Четырехокиси серы — 3,8.

Магния — 1,9.

Кальция — 0,6.

Калия — 0,5.

Брома — 0,1.

Много в морской воде и других веществ: 1900 млрд. тонн фтора, 14 млрд. тонн железа и столько же алюминия. Ученые подсчитали содержание в морской воде более чем 70 химических элементов.

Свежие вулканические пеплы содержат много легко растворимых солей натрия, калия, кальция, магния. Выпадая на поля, они играют даже роль минеральных удобрений. По данным сотрудницы 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.

Угольной 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.

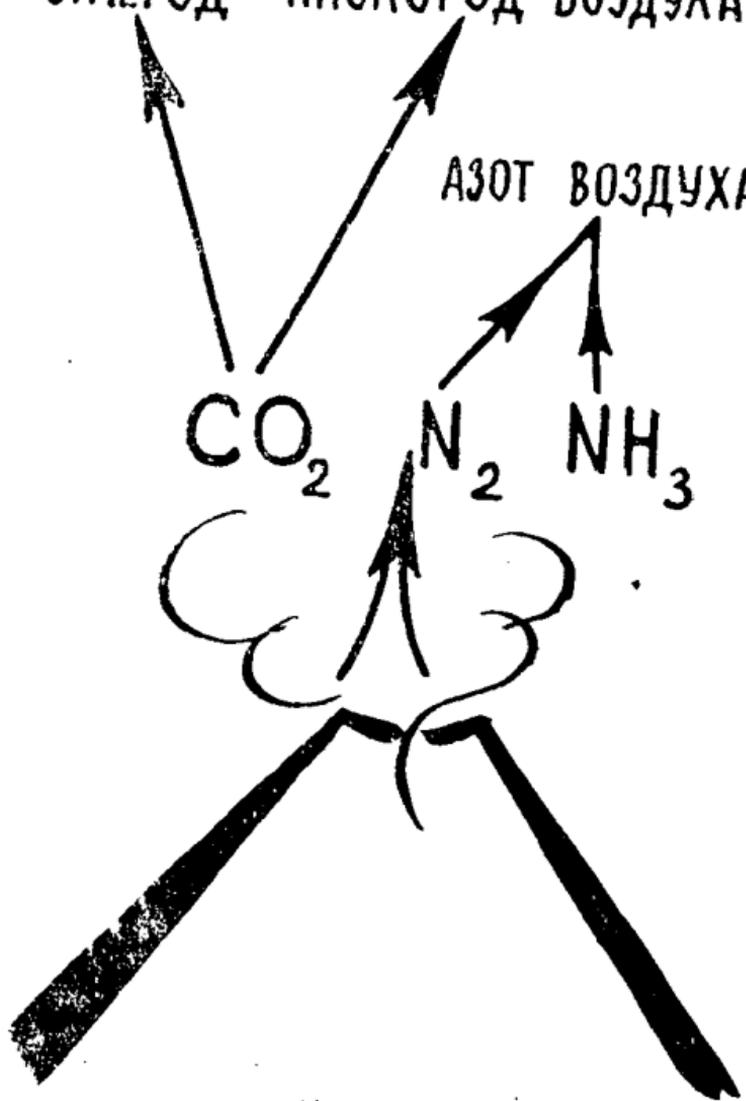
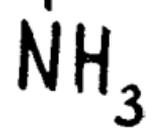
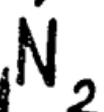
Угольной кислоты — от 3,0 до 25,6

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.

УГЛЕРОД КИСЛОРОД ВОЗДУХА

АЗОТ ВОЗДУХА



ВОЗДУХ, КОТОРЫМ ДЫШИМ

Воздух, которым дышим, совсем не похож на вулканические газы, тем не менее свою родословную он ведет от них, как современный человек от рыбы, которую он напоминает лишь на небольшом отрезке своего эмбрионального развития.

В составе основных газов активных вулканов с температурой на выходах от 95 до 760°C пары воды составляют от 88 до 99,6%. Остальные 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 числа 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 же часть азота в пробе ювенильная, вулканическая, трудно. Но само наличие в пробах ювенильного азота у вулканологов, специально занимающихся проблемой состава вулканических газов, не вызывает сомнений.

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

Вулканическое происхождение атмосферного кислорода не нуждается в особых доказательствах. Хорошо известно,

что углекислый газ важнейший компонент вулканических газов, а также и то, что массы углекислого газа постоянно перерабатываются в процессе фотосинтеза в органическое вещество и кислород.

Хочется обратить внимание на следующие любопытные соотношения. Отношение веса атмосферы к весу гидросферы и к весу литосферы равно 1:300:5 000.

Отношение газов, воды и твердых продуктов в вулканических извержениях приблизительно 1:3:100.

Эти отношения сильно отличаются по двум основным причинам. Во-первых, как мы показали, 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 в общем на составе воздуха сказывается незаметно. 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 менее 20 раз и каждый раз — после сильных извержений.

Особенное 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 зори — зоровой слой — лежит на высоте приблизительно 19 км. «Усиление» зорового слоя происходит в результате вторжения в стратосферу вулканического сернистого газа. Общее содержание серы в зоровом слое составляет около 10 000 тонн. Для поддержания слоя необходимо подновление его вещества не более нескольких раз в год, что вполне обеспечивается газовыделениями вулканов.



МЫ — ДЕТИ ВУЛКАНОВ

Конечно, мы — дети своих родителей, а наши родители дети наших бабушек и дедушек, а те в свою очередь дети наших прабабушек и прадедушек и так далее. Разве можно в этом сомневаться? Нет, конечно. Более того, нельзя сомневаться и в том, что, если мы не остановимся на прапрапрабабушках и прапрапрадедушках, а продолжим наш экскурс вглубь веков достаточно далеко, то мы дойдем и до человека каменного века и до наших обезьяноподобных предков. Те тоже в свою очередь были чьи-то детьми. Наука проследила развитие генеалогического древа жизни на Земле. Наши предки были подобны когда-то обезьянам, а еще раньше — лягушкам, а еще раньше — рыбам, а еще раньше они были одноклеточными организмами. В конце концов мы дети детей каких-то энных их поколений. Это так. Но причем тут вулканы? «Смотри в ко-

рень» — говорил Козьма Прутков. И если посмотреть «в корень», то окажется, что основой всех живущих на Земле организмов служит углерод, а его источником на поверхности Земли — вулканы. Мы уже упомянули о том, что один из основных вулканических газов — углекислый газ, попадая на поверхность Земли, диссоциирует на кислород и углерод. Углерод усваивается зелеными растениями, растения служат пищей животным. Бурное развитие жизни на Земле и постоянное увеличение массы органического вещества на планете было бы невозможным без постоянного притока углеродосодержащих вулканических газов на ее поверхность. Именно содержащие углерод вулканические газы, если «смотреть в корень», были исходным материалом для образования месторождений угля, нефти и горючего газа.

Возьмем описанное выше извержение Ключевского вулкана осенью 1966 года. В составе высокотемпературных фумарол соединения углерода составляли от 34 до 94% газа (без воды и воздуха).

Всего при извержении, по самым скромным подсчетам, их выделилось не менее 300 000 тонн.

Но ведь это было сравнительно слабое извержение. А сколько соединений углерода выделилось из магмы при извержениях Шивелуча в 1964 г. и Безымянного в 1956 г! Сколько их должно было выделиться при вулканических извержениях за геологическую историю Земли!

Жизнь на Земле возникла миллиарды лет тому назад. Географическая среда на планете тогда сильно отличалась от современной. Состав атмосферы был сравнительно близок к составу фумарол, а вода в первичных морях напоминала воду кислых кратерных озер. В этих условиях, вероятно, на прогретых горячими газами и водами склонах вулканов возникли углеродистые соединения, способные к обмену веществ и размножению — первые живые существа.

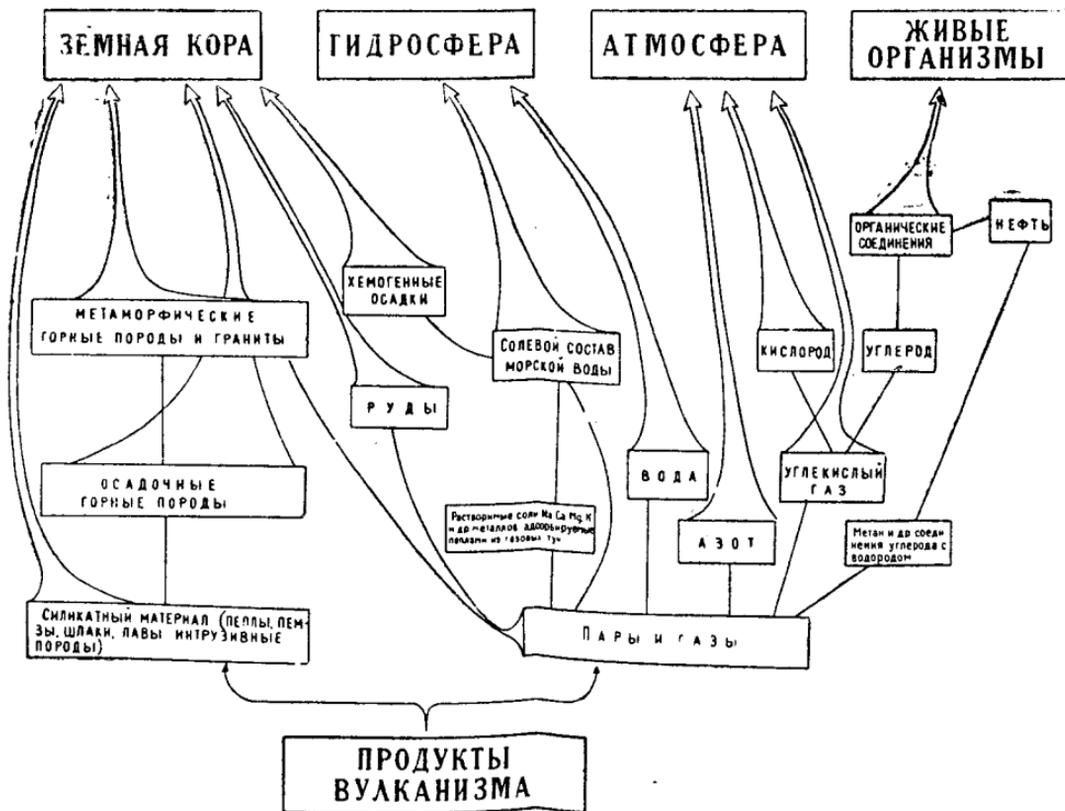
Быстро увеличиваясь в количестве, живые организмы сами стали важным агентом преобразования географической среды. Появление зеленых растений знаменовало начало усвоения углекислого газа из атмосферы, рост массы органического вещества, ускоренное обогащение воздуха кислородом.

За время геологической истории Зем-

ли вулканические газы претерпели очень сложные превращения: от содержащих углерод компонентов вулканических газов, через различного рода углеродистые соединения до органической основы жизни и от вулканических паров, через морскую воду до крови, циркулирующей в сосудах высокоорганизованных живых существ.

Таким образом, если смотреть в корень, мы не можем не прийти к следующему заключению: вся геохимическая эволюция внешних оболочек Земли — литосферы, гидросферы и атмосферы, так же, как возникновение и развитие жизни, есть, в конечном счете, преобразование первично вулканических продуктов, доставленных вулканами на поверхность планеты из ее глубоких недр.

СХЕМА ЭВОЛЮЦИИ ПРОДУКТОВ ВУЛКАНИЗМА



СОДЕРЖАНИЕ

На берегу огненной реки	5
Хаос камней	13
Вулканическая пыль и земная кора	23
Круговорот горных пород. Значение метеоритов, извер- жения вулканов — причи- на образования складок в слоях земной коры	37
Откуда в океане вода?	45
Воздух, которым дышим	51
Мы — дети вулканов	57

**МАРХИНИН ЕВГЕНИЙ
КОНСТАНТИНОВИЧ**

**ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ГИПОТЕЗА
ОБРАЗОВАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ,
ГИДРОСФЕРЫ И АТМОСФЕРЫ**

Редактор Куликов К. К.

Техн. редакторы Захарчук В. К.,
Воеводина В. И.

Корректор Шевякова В. Н.

Художественное оформление
и рисунки Воеводиной В. И.

ВИ 02489. Сдано в набор 7/VII-1967 г.

Подписано к печати 17/VIII-1967 г.

Физ. печ. л. 2,00.

(Уч. изд. л. 1,735. Тираж 3 000 экз.

Цена 11 коп.

**Дальневосточное книжное издательство
Комитета по печати при Совете Министров
РСФСР. Петропавловск-Камчатский,
Ленинская, 52.**

Петропавловская типография областного управ-
ления по печати. Петропавловск-Камчат-
ский, Ленинская, 48.

Заказ № 3962.

11 кон.

Б1
7014

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ
КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО