

Гипотезы

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ГЛУБИНАХ ЗЕМЛИ

Достижения механики и физики в XVII—XVIII вв. позволили определить массу и среднюю плотность Земли. Последняя оказалась равной $5,5 \text{ г}/\text{см}^3$. А так как плотность наиболее тяжелых пород на поверхности Земли не превышает $3,3 \text{ г}/\text{см}^3$, то, естественно, возникло представление, что плотность Земли увеличивается с глубиной.

Факты существования железных метеоритов, а также в прошлом популярная теория происхождения Земли из горячего вещества Солнца привели многих ученых к мысли о концентрации железа в центре Земли. Примечательно, что уже вполне определенные высказывания французского геолога А. Добрэ¹ в 1866 г. о железном ядре Земли вскоре получили поддержку со стороны сейсмологов, которым в конце XIX и начале XX в. удалось установить наличие в Земле ядра.

В 20-х годах текущего столетия В. М. Гольдшмидт (Норвегия) и немецкий физико-химик Г. Тамман развили представление о том, что в первоначально расплавленной Земле происходило разделение (дифференциация) веществ по их плотности, аналогично тому, что мы имеем, например, при плавке сульфидных руд. При этом процессе появляются три слоя: шлак (силикатный слой), штейн (смесь сульфидов и металла) и собственно металл. Согласно этой гипотезе, в Земле выделялись следующие слои: силикатный и сульфидный (оболочка Земли) и металлический, состоящий из железа с примесью никеля (ядро Земли).

Американские ученые Ф. Кларк, Г. Вашингтон, Л. Адамс и др. не выделяли сульфидный слой; они полагали, что между железным ядром и силикатной оболочкой находится промежуточная область, состоящая из смеси силикатов и железа.

Теория слоистой, химически дифференцированной Земли, во многом подкреплялась данными сейсмологов, которые первоначально считали, что в мантии (оболочке) Земли, т. е. в той ее части, которая расположена между земной корой и ядром, существует много границ раздела.

В дальнейшем успехи геофизики и космогонии, связанные главным образом с имена-

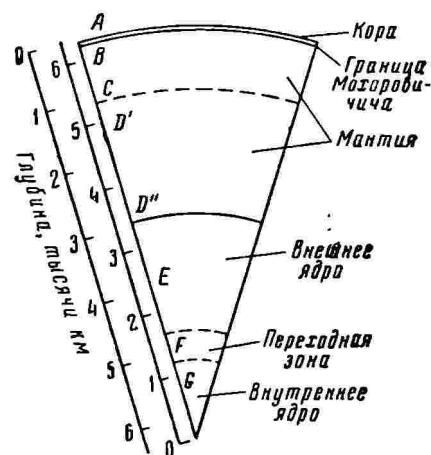


Рис. 1. Зоны в Земле по К. Буллену

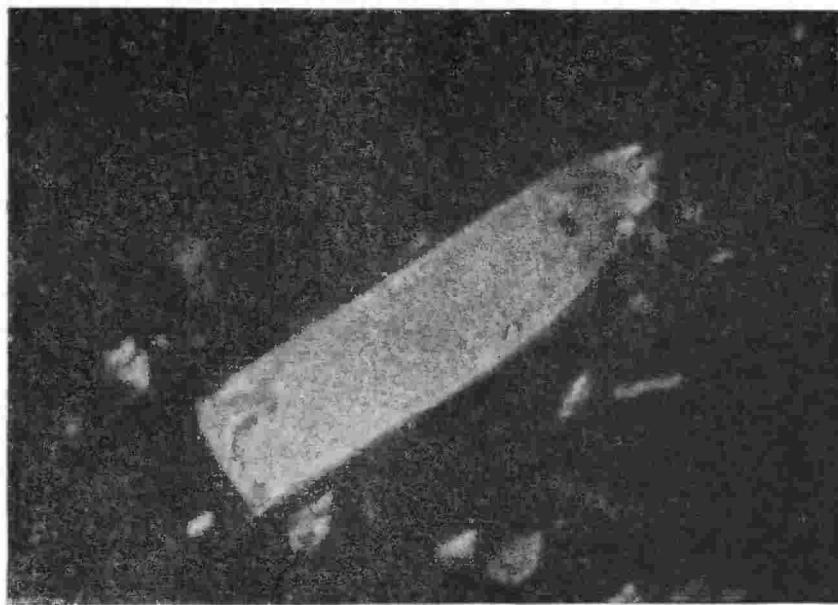


Рис. 2. Пластинчатый кристалл новой фазы (микрофотография)

ми англичанина Г. Джеффриса, немца Б. Гутенберга, новозеландца К. Буллена, советского ученого О. Ю. Шмидта, американца Дж. Койпера и др., заставили внести существенные корректизы в эти представления. Были уточнены количество и характер границ раздела в Земле, изучены упругие свойства ее глубин, получены данные о распределении плотности в Земле. Одновременно в свете новых гипотез о происхождении Земли и солнечной системы аргументы в пользу огненно-жидкой стадии в развитии Земли потеряли свою силу. Геохимические наблюдения также мало согласовались с представлением о некогда расплавленной Земле.

Обобщив результаты многих исследователей, К. Буллен выделил в Земле ряд зон, отличающихся друг от друга по физическим свойствам (рис. 1). Оказалось, что упругие свойства оболочки (мантии) Земли таковы, что сульфиды тяжелых металлов или металлическое железо не могут находиться в ней в заметных количествах. Однако предположение физически и химически однородной (гомогенной) силикатной, преимущественно оливиновой¹, мантии Земли вступает в противоречие с известными геофизически-

¹ Оливин — силикат магния и железа $(\text{MgFe})_2 \cdot \text{SiO}_4$.

ми данными. Оказалось, что в зоне «С» резко возрастает скорость сейсмических волн (см. рис. 1) и растет электропроводность. На зону «С» приходится максимум глубокофокусных землетрясений. Предположение о гомогенной мантии приводит к невероятно большому моменту инерции ядра. Поэтому К. Буллен был вынужден предположить, что внутри зоны «С» также резко увеличивается градиент плотности.

Еще в 1936 г. известный английский ученый Дж. Бернал пытался объяснить аномальные свойства зоны «С» переходом оливи-

на в более плотную модификацию, имеющую структуру типа шпинели. Структурный тип шпинели представляет собой плотнейшую кубическую упаковку ионов кислорода с катионами, располагающимися в октаэдрических и тетраэдрических положениях.

Структура оливина, хотя и обладает плотнейшей упаковкой, но сильно искажена и потому переход в более симметричную упаковку шпинели будет сопровождаться увеличением плотности.

В настоящее время получены некоторые косвенные доказательства возможности подобного перехода. Эта гипотеза, хотя и не может полностью объяснить все особенности строения мантии, но тем не менее ее значение заключается в том, что она возбудила большой интерес к проблеме физического изменения состояния вещества мантии под действием давления.

Американский геофизик Ф. Берч, детально изучивший свойства мантии, пришел к выводу, что, по всей вероятности, единственной неоднородной (гетерогенной) областью в мантии является зона «С», в которой можно ожидать физических и химических изменений. Одновременно им было показано, что упругие свойства нижней мантии или зоны «D» слишком высоки для обычных силикатов с кремнием в четверной координа-

ции¹, но вполне соответствуют плотноупакованным окислам типа периклаза MgO , рутила TiO_2 и корунда Al_2O_3 . На этом основании Ф. Берч предположил, что в зоне «С» происходит перестройка ферромагнезиальных силикатов в плотноупакованные структуры простых и сложных окислов.

Гипотеза Ф. Берча требует перехода кремния из четверной координации в шестерную, т. е. такое расположение, где вокруг кремния располагается шесть атомов кислорода. Однако возможность подобного изменения координации у кремния подвергалась сомнению. В связи с высказанным, нами, совместно с научным сотрудником Института физики высоких давлений АН СССР С. В. Проповой, были поставлены опыты по изучению состояния кремнезема в условиях сверхвысоких давлений и высоких температур. Работа проводилась при помощи установки, созданной в ИФВД АН СССР и способной генерировать давление до 200 тыс. ат в сочетании с высокими температурами.

В качестве исходных веществ употреблялись кварц и аморфный кремнезем. Опыты проводились при давлениях от 36 до 145 килобар и температурах от 1200 до 2000 °С. При давлениях 115–145 килобар и температурах около 1500 °С удалось обнаружить неизвестную фазу с высокими показателями преломления, в виде игольчатых и пластинчатых кристаллов размером до 0,5 мм (рис. 2).

Новая фаза имела высокую твердость, близкую к твердости корунда, и плотность 4,35 г/см³, в то время как наиболее плотная из всех известных до сих пор модификаций кремнезема — коэсит — имеет плотность 3,01 г/см³. При помощи химических и спектральных исследований удалось установить, что новая фаза состоит из чистого кремнезема. Следовательно, нами была получена новая модификация кремнезема с очень высокой плотностью, превышающей на 64% плотность кварца и на 45% плотность коэсита.

Рентгеноструктурное исследование, проведенное совместно с акад. Н. В. Беловым,

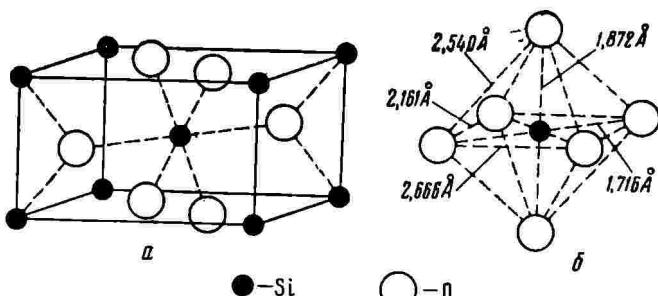


Рис. 3. Общий вид элементарной ячейки новой модификации SiO_2 (а) и координационный октаэдр кремния (б)

показало, что новая модификация кремнезема имеет кристаллическую структуру с кремнием в шестерной координации (рис. 3). Необходимо заметить, что условия получения новой плотной модификации SiO_2 совпадают с условиями, предполагаемыми для верхних частей слоя «С», где как раз и ожидались фазовые переходы.

Приближенные подсчеты показывают, что модель нижней мантии (зоны «D»), состоящая из механической смеси MgO (периклаза), FeO (вюстита) и новой модификации SiO_2 будет иметь плотность и упругость, вполне согласующиеся со свойствами, известными для нижней мантии из экспериментальных и теоретических данных. Но можно предполагать, что нижняя мантия не представляет собой механической смеси индивидуальных окислов. В этом случае нижняя мантия может рассматриваться как гомогенное вещество с плотнейшей упаковкой кислородов, октаэдрические положения которых заняты магнием, железом и кремнием с неупорядоченным расположением последних. Подсчеты плотности состава, соответствующего веществу мантии, предполагая, что она находится в вышеуказанном структурном состоянии, также согласуются с известными данными.

Необходимо подчеркнуть, что предполагаемые структурные модели нижней мантии допускают возможность дальнейших трансформаций, например, в структуры с координационным числом катионов, равным восьми. Переход такого типа может объяснить резкое изменение свойств на границе ядра, что регистрируется соответствующими изменениями в скоростях сейсмических волн. Структуры с координационным числом 8 характерны для металлов и интерметаллических соединений, и весьма вероятно, что вещество Земли, имея подобную координацию, будет обладать металлическими свойствами.

¹ Природные кремне-кислородные соединения содержат кремний в окружении четырех атомов кислорода, расположенных по вершинам правильного тетраэдра (в терминологии кристаллохимиков это расположение называется тетраэдрической координацией).

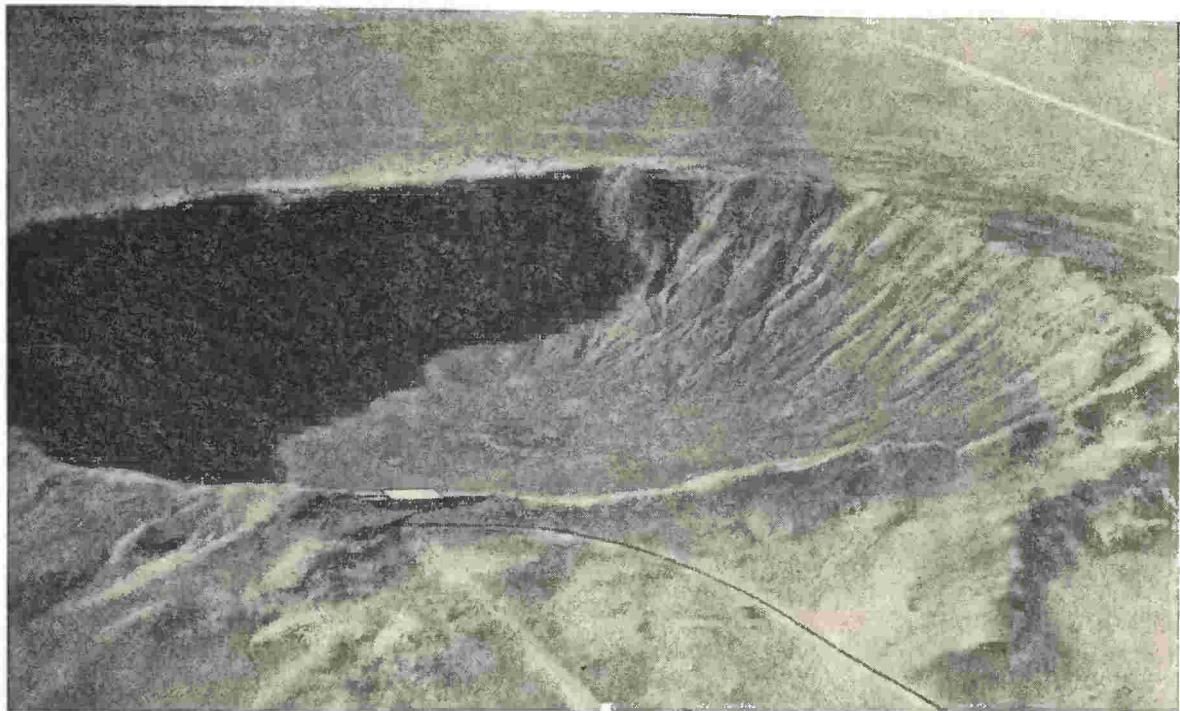


Рис. 4. Общий вид Аризонского кратера

В настоящее время нельзя решить, насколько справедливы высказанные здесь предположения. Ясно лишь одно, что синтез новой, плотной модификации SiO_2 дает возможность объяснить свойства нижней мантии без привлечения гипотезы о химическом изменении вещества Земли с глубиной.

В заключение хотелось бы добавить, что группа американских исследователей (Э. Чоа, Дж. Фахи, Дж. Литтлер и Д. Мильтон) обнаружила открытую нами рутилоподобную модификацию SiO_2 в породах Аризонского метеоритного кратера (рис. 4),

где она образовалась под действием высоких давлений и температур, возникших при падении метеорита. Возможно, что при падении метеоритов возникают более высокие давления, чем получаемые пока в лабораториях. Поэтому необходимо тщательно изучать породы метеоритных кратеров; может быть, будут открыты еще более интересные минералы, которые помогут нам в познании земных глубин.

С. М. Стишов
Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

КОРОТКО О КНИГАХ

А. С. Данилевский

ФОТОПЕРИОДИЗМ И СЕЗОННОЕ РАЗВИТИЕ НАСЕКОМЫХ

Изд-во Ленинградского университета, 1961, 243 стр., ц. 1р. 29 к.

Среди условий, формирующих сезонные циклы развития насекомых, важнейшее значение имеют изменения продолжительности дня. Реакция насекомых на сезонные изменения длины дня носит название фотопериодической реакции. В книге А. С. Данилев-

ского, насыщенной оригинальным фактическим материалом, рассматриваются (главным образом на примере отряда чешуекрылых) ее характерные черты и связь с другими факторами среды. Детально выясняется роль световых условий в наступлении диапаузы, т. е. временной остановки развития, помогающей переносить не благоприятные условия; изучены географическая изменчивость фотопериодических и температурных реакций насекомых, а также причины изменений фенологии

насекомых по годам и в пределах области их распространения.

Теоретическая значимость рассматриваемых явлений и роль их для обоснования практических мер по борьбе с вредителями делают труд А. С. Данилевского полезным не только для специалистов, но и для более широкого круга читателей, интересующихся поистине всеми достижениями биологии.

С. М. Попелов
Кандидат биологических наук
Ленинград