

Известняковый Дагестан
Фото А. Сорского

ТАЙНЫ ЗЕМНЫХ НЕДР

ЧТО НЕОБХОДИМО УЗНАТЬ О ГЛУБИННОМ СТРОЕНИИ НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ?

Член-корреспондент АН СССР В. В. Белоусов

«Волновод» * Неоднородность верхней мантии * Проблема вещественного состава материала недр * Продукты вулканических извержений * Физическая химия силикатов * Трудности сверхглубокого бурения * Неиссякаемый источник тепловой энергии

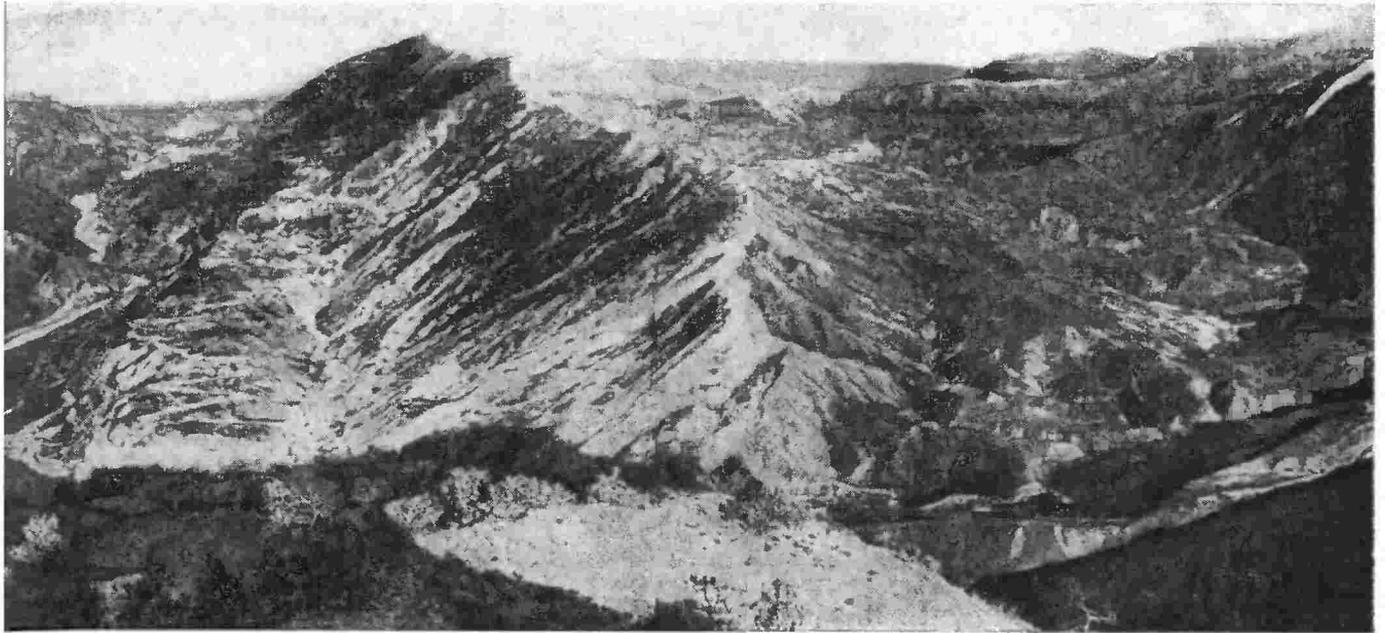
ГЛУБИННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Внешние, или экзогенные, геологические процессы, такие, как разрушение горных пород и образование новых осадочных отложений, происходят на поверхности Земли при давлениях и температурах, близких к нормальным. Поэтому принципиально они доступны изучению без каких-либо особых трудностей. Совершенно иное положение с внутренними, или эндогенными, процессами — тектоническими движениями зем-

Полностью статья В. В. Белоусова публикуется в сборнике «Проблемы сверхглубокого бурения», под-

ной коры, магматическими явлениями и метаморфизмом. Если они и заметны на поверхности, то лишь как отголоски значительно более глубоких процессов, развивающихся в глубинных слоях земной коры и в верхней мантии. Эти процессы происходят в обстановке высоких давлений и температур, и их изучение сопряжено с огромными трудностями.

Неудивительно, что геология развивалась, так сказать, «асимметрично». Многие подготовленные к печати Институтом истории естествознания и техники АН СССР.



было сделано для понимания существа и механизма внешних процессов (например, образования осадочных пород). В то же время, в области, связанной с эндогенными процессами, достигнутые успехи касаются главным образом, выяснения внешних исторических и пространственных связей между различными явлениями.

Надо сказать, что выяснение временных и пространственных закономерностей развития тектонических, магматических и метаморфических процессов — это очень большое достижение геологической науки, как теоретическое, так и прикладное. Оно послужило основой для прогнозирования мест концентрации различных групп полезных ископаемых и многие десятилетия направляло и до сих пор направляет геологические поиски. Однако вопрос о глубинных причинах эндогенных процессов не был решен. Поэтому и установленные закономерности в последовательности и взаимных сочетаниях этих процессов остаются преимущественно закономерностями эмпирическими, или статистическими.

Существенно ли для нас сейчас знать, почему происходят поднятия и опускания земной коры, почему слои мнутся в складки что заставляет магму того или иного состава подниматься к поверхности, движутся материка или нет, образуются океаны на месте материков или эволюция идет только в сторону образования новых материков на месте ранних океанов и т. п.? Никто не будет сомневаться в большом теоретическом, познавательном значении этих вопросов. Что касается их практического значения, то на

первый взгляд, здесь могут существовать разные точки зрения. Если сопоставить цифры затрат на поиски и эксплуатацию разных полезных ископаемых, то выяснится, что большая часть таких затрат будет относиться к полезным ископаемым осадочного происхождения — таким, как нефть, уголь, осадочные руды некоторых металлов и пр. Поэтому с точки зрения практики как будто не так уж существенно знать причины образования гранитных батолитов или глубинных разломов в земной коре. Но такой вывод был бы поспешным и необоснованным. Во-первых, эндогенные рудные месторождения, образование которых непосредственно связано с магматической деятельностью, играют большую роль в общем балансе полезных ископаемых. Среди них находятся ископаемые, может быть не столь обширные по объему, как, например, угольные бассейны, но исключительно важные по характеру содержащегося в них сырья.

Во-вторых, если непосредственно вещество полезного ископаемого и не создается эндогенными процессами, это не значит, что в своем составе и размещении осадочные месторождения не зависят от последних. Напротив, связь здесь чрезвычайно большая и даже, можно сказать, решающая. Нефть и газ скапливаются в сводах антиклинальных складок, и геологи-нефтяники хорошо понимают, как важно для них знать строение складок, их историю и условия образования (рис. 1). Угольные бассейны формируются в зонах погружения земной коры, образующихся в результате тектонических движений.

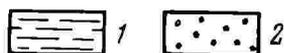
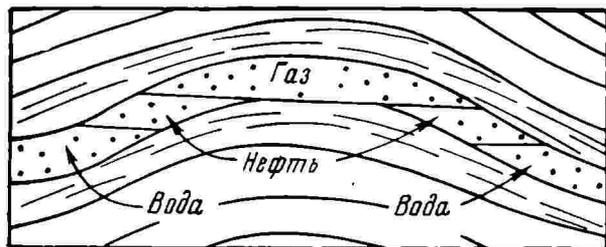


Рис. 1. Концентрация газа и нефти в антиклинальной (выпуклой) складке слоев: глина (1), пористые пески (2)

Метаморфизм углей представляет собой одно из проявлений регионального метаморфизма горных пород вообще, связанного с глубинными процессами. Размещение целых зон осадочных месторождений связано с тектоническим развитием земной коры. Например, те же нефтяные и угольные месторождения в значительной степени приурочиваются к передовым и межгорным прогибам, закономерно образующимся в заключительной стадии развития геосинклинали: первые — на ее периферии, вторые — во внутренней части между возникающими горными хребтами. Другая группа нефтяных месторождений столь же закономерно приурочена к синеклизам на платформах и т. п.

Наконец, хорошо известно, что характер поверхностных разрушительных процессов, пути и дальность переноса осадочного материала, быстрота его захоронения в месте аккумуляции, т. е. условия, влияющие на состав осадочных продуктов и на их структуру, зависят от тектонической обстановки и прежде всего от размещения областей поднятия и опускания земной коры, от скорости ее движений. Многие осадочные месторождения образуются в результате разрушения и переотложения материала магматических пород, которые по отношению к этим вторичным месторождениям играют роль материнских пород. Поэтому, чтобы правильно ориентировать поиски вторичных осадочных месторождений необходимо знать размещение магматических пород.

Таким образом, все разделы прикладной геологии, в том числе и занимающиеся осадочными полезными ископаемыми, заинтересованы в познании глубинных процессов, в понимании причин и

условий развития тектонических, магматических и метаморфических процессов.

ТОЛЩА В 1000 км

Вполне очевидно, что тектонические, магматические и метаморфические процессы имеют свои основные источники в глубоких слоях земной коры и в верхней мантии. Правда, на земной поверхности или в самых верхних слоях земной коры действуют гравитационные силы. Нередко они вызывают скольжение по склонам поднятий больших массивов горных пород, которые при этом разламываются и сминаются в складки (рис. 2). С теми же гравитационными силами связано образование соляных куполов и некоторых других «складок нагнетания», в которых происходит «всплывание» более легких пород из-под более тяжелых или выжимание пластичных пород по трещинам под тяжестью неравномерной нагрузки (рис. 3).

Но эти поверхностные тектонические процессы — лишь следствие и отражение более глубоких процессов. Ведь сначала должно образоваться поднятие, а потом может осуществиться соскальзывание массива слоев с его склона. Здесь уже действуют силы, вызывающие изгибание вверх всей земной коры, и зарождаются они где-то в глубине.

В настоящее время кажется наиболее вероятным, что небольшие тектонические поднятия и опускания, измеряемые несколькими километрами в поперечнике, образуются в результате процессов, происходящих внутри земной коры на глубине в 10—20 км. Одним из таких процессов, например, может быть гранитизация, т. е. превращение осадочных и метаморфических пород в граниты путем их переплавления¹. Но в

¹ При гранитизации происходит увеличение объема пород на 10—15%. Находящиеся в текучем состоянии, еще горячие граниты, образуя плоскую линзу среди слоев других пород, оказываются в неустойчивом состоянии; под тяжестью вышележащих пород они легко пережимаются в одних местах и сгруживаются в других, вызывая образование неровностей в залегании покрывающих слоев.

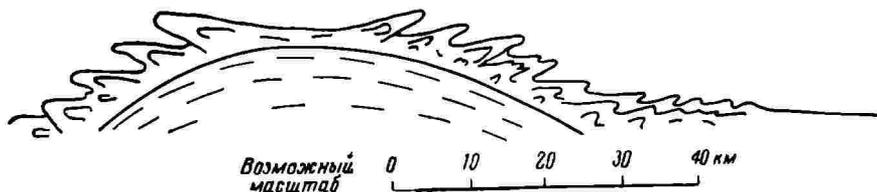


Рис. 2. Оплывание слоев на склонах тектонического поднятия

основе тектонической жизни земной коры лежит формирование и медленное развитие больших поднятий и прогибов, которые в геосинклиналях имеют ширину 50—100 км, а на платформах образуют впадины и выпуклости во много сот и даже в несколько тысяч километров в поперечнике. Невозможно представить себе, чтобы такие огромные выпуклости и впадины образовывались процессами внутри земной коры. Ясно, что в их образовании должна участвовать вся земная кора, толщина которой, как известно, на материках в среднем равна всего 35 км, а в океанах (если исключить толщину воды) обычно не превышает 6—8 км. Таким образом, причины основных тектонических движений должны лежать в мантии Земли (рис. 4).

На какую же глубину распространяются эти исходные процессы? На этот вопрос можно ответить лишь предположительно. Известно, что самые глубокие очаги землетрясений обнаруживаются на глубине около 700 км. Известно также, что на глубине около 900 км наблюдается резкий перелом в кривой скорости распространения сейсмических волн: до указанной глубины они нарастают очень быстро, а ниже, вплоть до границы с ядром, увеличиваются постепенно (рис. 5). Это позволяет предполагать, что здесь происходит изменение состава вещества, слагающего мантию. На глубинах 100—200 км под материками и 50—400 км под океанами в мантии отмечается слой с несколько пониженными скоростями сейсмических волн — так называемый «волновод», который физически следует понимать как зону «размягчения». Толщина «волновода», по-видимому, непостоянна. Меняется также и плотность слоев мантии выше «волновода». Глубже него неоднородностей в мантии до сих пор не обнаружено.

Таким образом, мантию можно разделить на две части: верхнюю и нижнюю. Верхняя отличается значительной неоднородностью своего строения и, судя по глубоководным землетрясениям, значительной подвижностью. Нижняя часть мантии спокойна и

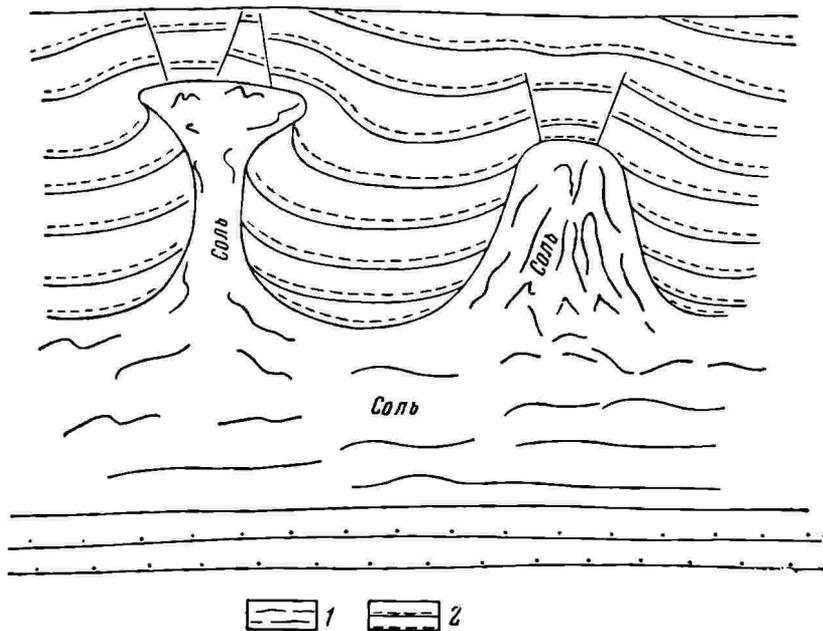


Рис. 3. Соляные диапировые купола: соль (1), другие осадочные породы (2)

однородна. Поэтому вполне правдоподобно предположение, что верхняя мантия — это как раз та область, в которой зарождаются тектонические процессы. И не только тектонические. Геофизические исследования в вулканических районах показывают, что магматические очаги вулканов расположены на глубинах не меньше 50—60 км. Сравнение выбрасываемых вулканами лав с результатами лабораторных опытов над силикатными расплавами позволяет думать, что магма образуется на еще большей глубине, в некоторых случаях, может быть, даже свыше 200 км. Следовательно, верхняя мантия оказывается источником не только тектонических, но и магматических процессов. Весьма вероятно, что большую роль здесь играет

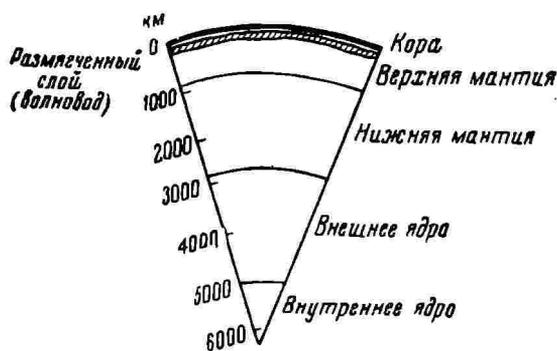


Рис. 4. Оболочки Земли

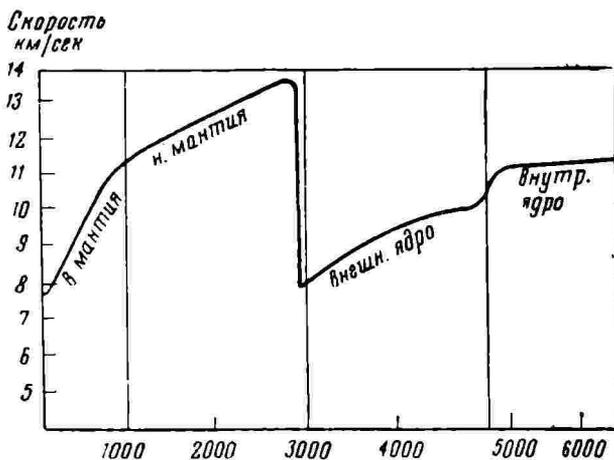


Рис. 5. Изменение скорости распространения продольных сейсмических волн с глубиной

«волновод», поскольку этот слой пониженной плотности должен характеризоваться неустойчивостью как механической, так и физико-химической.

Итак, для понимания эндогенных процессов следует изучать земную кору и верхнюю мантию, т. е. толщу приблизительно в 900—1000 км.

За последнее время мы узнали много нового и крайне интересного о неоднородностях в верхней мантии. Например, установлено, что «волновод» имеет гораздо большую толщину под океанами, чем под материками. Если рассматривать его как продукт частичного плавления материала на глубине, такие различия должны свидетельствовать о большей нагретости глубоких недр под океанами, чем под материками. Это согласуется с прямыми измерениями тепловых потоков, выделяемых из глубины Земли: под океанами в некоторых местах тепловые потоки в 6—7 раз больше, чем нормальный тепловой поток на материке. Оказалось, что граница между корой и верхней мантией в разных местах различна. Под устойчивыми зонами коры она выражена резко, и между скоростями сейсмических волн в нижних слоях коры и в самых верхних слоях мантии наблюдается значительный скачок. В отличие от этого, в тектонически активных зонах переход от коры к мантии значительно более постепенен, и в этих случаях можно говорить о смешении, обмене материала коры и мантии.

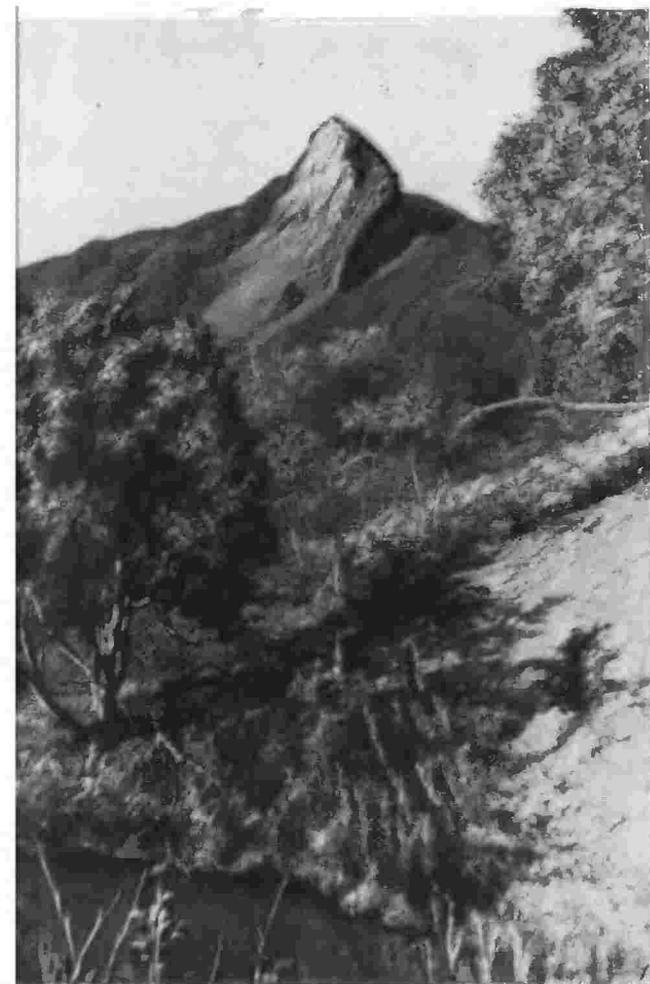
Что касается земной коры, то наблюдаемые в ней неоднородности также тесно связаны с тектоническими и магматическими процессами. Земная кора толще под молодыми хребтами и тоньше под равнинами. На-

пример, под Кавказом, Памиром или Андами, хребтами, выросшими из альпийских геосинклиналей, кора составляет 60—80 км. На древних платформах, подобных Русской, — 30—35 км. Особенно тонка кора в океанических впадинах, где вместе с толщей воды она обычно не превышает 11—12 км и лишь под подводными хребтами достигает 20—30 км (рис. 6).

Сейсмические волны указывают на изменение с глубиной физических свойств пород земной коры. В связи с этим возникла классическая схема деления коры на два слоя: гранитный и базальтовый. Следует сразу оговориться, что эти названия должны пониматься условно. Первое из них, вероятно, ближе отвечает действительному составу пород, тогда как второе должно означать лишь то, что скорости распространения сейсмических волн в нижних слоях коры близки к тем, которые наблюдаются в основных изверженных горных породах. Толщина этих слоев в разных местах различна. Те утолщения коры, которые наблюдаются под горными хребтами (так называемые «корни гор»), местами образованы расширением, главным образом, гранитного, а местами — преимущественно базальтового слоя. Под океанами же гранитный слой вовсе отсутствует. Он тонок под островными дугами и некоторыми внутренними и окраинными морями.

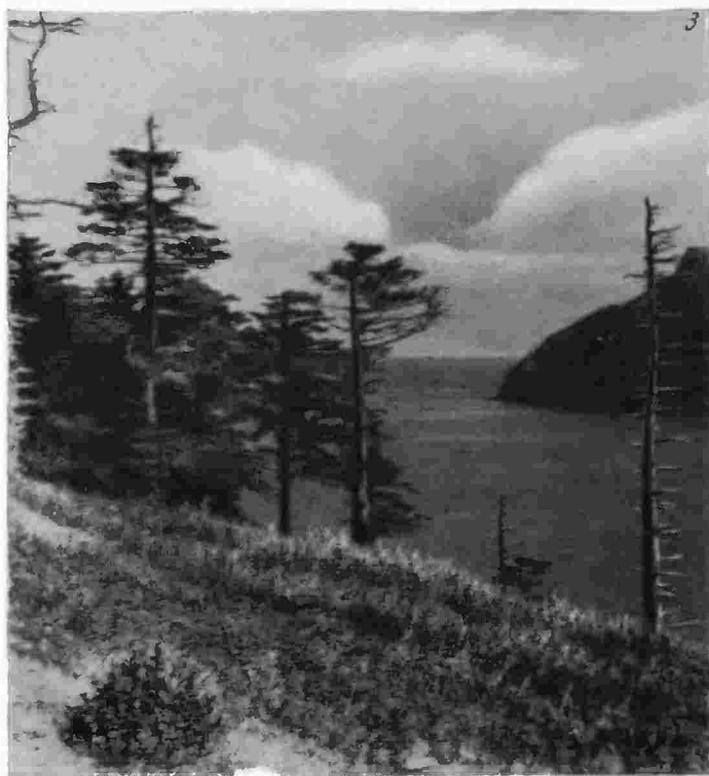
Процессы метаморфизма играют важнейшую роль в жизни вещества земной коры. Они связаны с притоком дополнительного тепла из более глубоких областей — из той же верхней мантии. В определенные стадии развития геосинклиналей усиливается поступление тепла в земную кору снизу, что и приводит к перекристаллизации осадочных пород и к «выпариванию» из нижних слоев подвижных компонентов — воды, кремнезема, щелочных металлов, которые мигрируют вверх. В настоящее время образование гранитов рассматривают обычно как предельное проявление того же процесса регионального метаморфизма, при котором происходит не только перекристаллизация, но и переплавление пород земной коры с образованием гранитного расплава. Снова мы оказываемся перед необходимостью рассматривать земную кору совместно с верхней мантией.

От изложенных здесь отрывочных, но очень определенных данных и предположений до настоящей теории глубинных процессов — дистанция огромного размера. Нужна еще обширная исследовательская работа,



Долина реки Гейзерной, Камчатка (1); общий вид коробчатой синклинали, Дагестан (2); переслаивание андезито-базальтовых лав и пемзы на восточном побережье Камчатки (3); опрокинутая синклиальная складка в песчано-сланцевой толще нижней юры, Дагестан (4)

Фото А. Горячева, А. Сорского, В. Шоло



Складчатые деформации в песчаниках нижней юры (1), складка в известняках Дагестана (2); один из островов Малой Курильской гряды (3); сложная складчатость во флишевой толще южного склона Большого Кавказа (4)

Фото А. Горячева, А. Соуского, В. Шоло

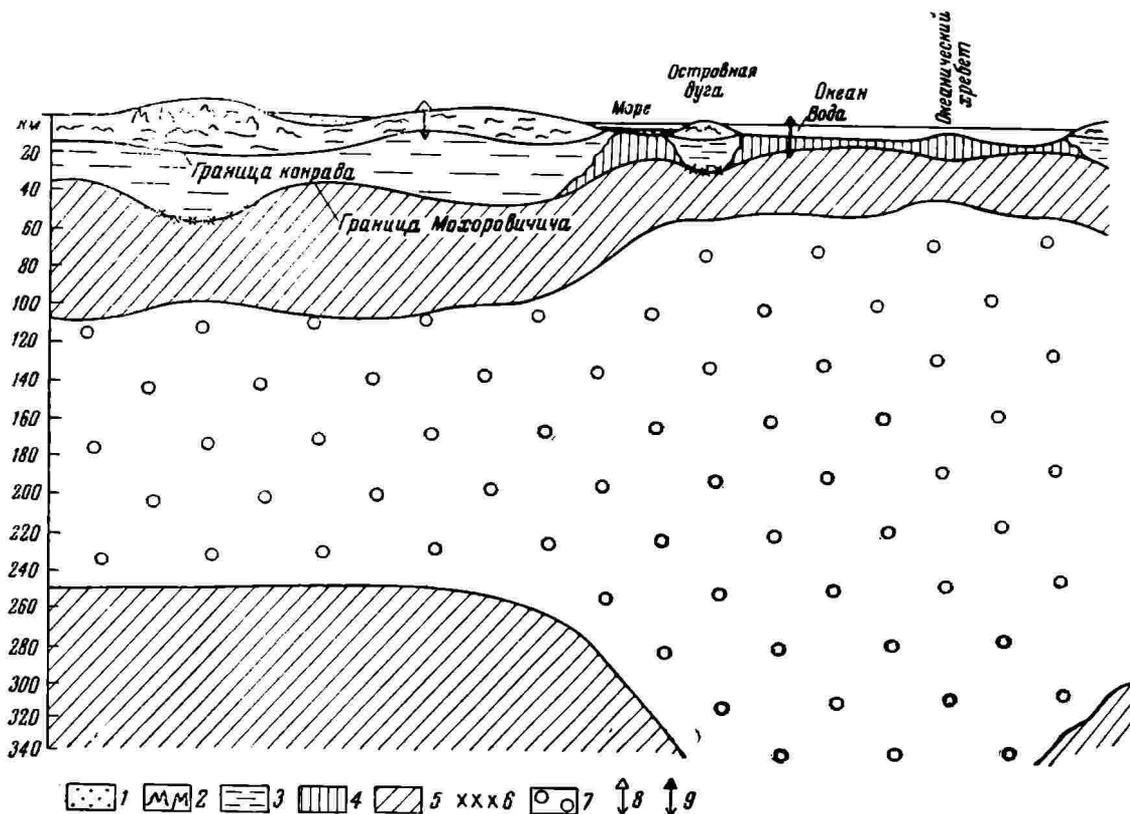


Рис. 6. Неоднородности в коре и верхней мантии: осадочные породы (1), гранитный слой (2), базальтовый слой на материках — слой дегранитизации (3), базальтовый слой в океанах (4), ультраосновные породы верхней мантии (5), смещение пород мантии и коры (6), волновод (7), советский проект сверхглубокого бурения по материковой коре для достижения базальтового слоя (8), американский проект сверхглубокого бурения в океане для достижения верхней мантии (9)

чтобы начали намечаться предварительные контуры такой теории. Мы рассмотрим возможные направления этой работы. Сразу же оговоримся, что в наших знаниях о глубоких недрах есть изъян, без ликвидации которого невозможно рассчитывать на принципиальные успехи в понимании происходящих у нас под ногами явлений. На лиц, стоящих в стороне от специфики наук о Земле, это может произвести несколько неожиданное впечатление. Ведь этот изъян касается проблемы, которая должна была бы быть решена раньше, чем поставлен вопрос о глубинных процессах. Речь идет о проблеме вещественного (химического и минералогического) состава материала недр. Кажется странным, что мы рассуждаем о процессах, не зная, в какой среде они происходят. А между тем мы говорим о движении, расширении и сжатии, преобразовании материала глубоких слоев коры и верхней мантии, не зная, о каком материале идет речь и пытаясь в этом отношении лишь предположениями.

КАК МЫ ПОЛУЧАЕМ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ НЕДР

Мы хорошо знаем, из каких пород состоит слой осадочных горных пород материковой коры. Этот слой распространен неравномерно и мы знаем, где он толст и где его нет вовсе. Максимальная его толщина едва ли выходит за пределы 15 км, но во многих областях она уменьшается до нуля, как, например, на кристаллических щитах: Балтийском, Канадском и других.

Нам известно, что под осадочным слоем повсеместно залегает «кристаллический фундамент», состоящий главным образом из метаморфических пород и гранитов. Благодаря неравномерному размыву, происходящему на фоне вертикальных тектонических движений, мы можем заглянуть довольно глубоко внутрь этого «фундамента». Можно думать, что предел наших геологических наблюдений — глубина 7—8 км под поверхностью кристаллических пород. Такой предел достигается там, где все вышележащие породы смыты. Существенных изменений в со-

ставе «фундамента» при этом не наблюдается: как и близ поверхности, он продолжает состоять, в основном, из гнейсов и гранитов. Однако с глубиной степень регионального метаморфизма повышается, слюдяные и роговообманковые гнейсы с кислыми плагиоклазами заменяются пироксеновыми гнейсами с основными плагиоклазами. По-видимому, с глубиной уменьшается роль воды и кремнезема, которые, возможно, выделились отсюда под влиянием высокой температуры и большого давления и переместились в более высокие и относительно более холодные слои коры. Наблюдения позволяют также предполагать, что с глубиной несколько повышается значение основных изверженных пород типа габбро.

Сопоставление этих данных с результатами сейсмической разведки наводит на мысль, что наблюдаемые породы кристаллических щитов — это материал того слоя, который сейсмологи выделяют под наименованием гранитного и который, вероятно, правильнее было бы называть гранитогнейсовым, так как гнейсы играют в нем не меньшую роль. Таким образом, мы позволим себе считать, что имеем удовлетворительные представления о составе гранитного слоя.

Но на этом все наши прямые сведения о составе недр заканчиваются.

Дополнительные сведения о строении недр мы получаем различными путями. Один из таких путей — изучение продуктов вулканических извержений. С ними на поверхность выносятся материал со значительно большей глубины, чем 8—10 км. По современным представлениям многие вулканические лавы поднимаются с 50—60 км, а некоторые возможно, и с глубин, превышающих 200 км.

Наблюдения над вулканическими продуктами показали, например, что среди изливающихся лав преобладают базальты, тогда как кислые лавы, соответствующие по своему составу гранитам, играют ничтожную роль. Это обстоятельство показывает, что состав материала на значительных глубинах, по-видимому, существенно отличается от его состава близ поверхности: в верхних слоях коры как раз кислый материал в виде гранитов и гнейсов преобладает. Иногда в базальтах встречаются включения или глыбы еще более основных пород — перидотитов или дунитов, что позволяет предполагать присутствие на значительных глубинах также и ультраосновных пород.

Недостаток этого метода состоит в том, что мы не можем создавать искусственных вулканов там, где захотим. Мы вынуждены пользоваться существующими вулканами или теми из ранее существовавших, от которых остались накопления продуктов их деятельности. Другая трудность состоит в том, что состав лавы не обязательно соответствует составу первичного глубинного материала. В настоящее время большинство исследователей считает, что базальты возникли из первичного материала ультраосновного (перидотитового) состава в результате избирательного выплавления на глубине.

Ко всем этим затруднениям надо добавить, что невозможно точно определить, с какой именно глубины поднялись на поверхность те или иные лавы.

В последнее время на помощь приходят данные экспериментальной физической химии силикатов. Лабораторное изучение фазовых равновесий силикатных систем, по составу тождественных природным или близких к ним, при тех температурах и давлениях, которые характерны для больших глубин, помогает выяснить наиболее вероятные пути эволюции глубинного вещества. Сейчас в этом направлении достигнуты большие успехи. Но и тут есть еще трудности, связанные с множественностью действующих факторов. Например, только в самые последние годы стало ясно, что большое, а может быть и решающее, значение в процессах плавления и кристаллизации магм имеет не столько общее давление нагрузки, сколько давление газовых фаз и, в первую очередь, воды.

Другой канал, по которому поступают сведения о глубоких недрах земли, — это геофизические методы, которые позволяют судить о физических свойствах материала, слагающего недра. Могущество этих методов заключается в том, что они в той или иной мере проникают до самых больших глубин — до центра земного шара. Но это далеко не значит, что они отвечают на все вопросы, которые мы перед ними ставим.

Некоторые из этих методов могут дать лишь суммарное представление о физических особенностях пород. Например, гравиметрический метод устанавливает среднюю плотность всех пород, расположенных под точкой наблюдения. Но недра слоисты и в них всегда переслаиваются породы разной плотности, залегающие друг на друге. Что бы при помощи гравиметрии определить тол-

щину этих слоев, необходимо заранее приписать каждому из них определенную плотность. Совершенно очевидно, что этим путем нельзя получить однозначный результат.

Другие методы определяют физические свойства пород на месте и позволяют индивидуализировать отдельные слои или тела. Например, сейсмические методы по праву признаются сейчас самыми мощными. Они позволяют по скоростям распространения и некоторым другим особенностям сейсмических колебаний определить упругие свойства залегающего на глубине материала.

Но выяснить упругие свойства материала — это еще не значит установить его химический состав. Ведь существует много различных веществ с одинаковыми упругими свойствами. Например, базальтовый слой земной коры получил такое название потому, что в нем и куске плотного базальта или в габбро скорости распространения упругих колебаний — одинаковы. Однако такие же скорости наблюдаются и в некоторых метаморфических породах — в плагиоклазовых пироксеновых гнейсах с гранатами. В настоящее время накапливаются данные, свидетельствующие, что базальтовый слой в большей степени образован именно такими гнейсами.

Конечно, одновременное использование разных геофизических методов вместе с результатами лабораторного изучения свойств горных пород при высоких температурах и давлении уменьшает степень неопределенности, но полностью исключить ее пока невозможно.

Таким образом, мы видим, что несмотря на огромные успехи, достигнутые в последнее время различными отраслями эндогенной геологии, геофизики и геохимии, эти успехи не могут снять вопроса о необходимости непосредственного проникания на те глубины, на которых мы можем узнать нечто принципиально новое о составе и строении земных недр и тем самым начать понимать, какие процессы там возможны. А это будет тогда, когда бурение позволит нам получить с достаточной глубины образец природного материала.

ДЛЯ ЧЕГО НУЖНЫ СВЕРХГЛУБОКИЕ СКВАЖИНЫ?

Становясь на путь сверхглубокого бурения, не следует думать, что для достижения важных результатов понадобится изрешетить территорию нашей страны огромным числом

таких скважин. На первых порах достаточно иметь небольшое число опорных скважин, которые в ряде типичных районов дадут точное представление о разрезе земной коры. В дальнейшем, используя эти скважины в качестве исходных точек, привязываясь к их разрезам, можно будет при помощи более дешевых и быстрых геофизических методов получить картину глубинного строения коры на больших площадях.

На какую же глубину следовало бы нам непосредственно проникнуть?

Обычные геологические методы позволяют нам «заглянуть» внутрь гранитного слоя коры на глубину 7—8 км. Следовательно, если мы задумаем сверхглубокое бурение на материке, надо будет значительно превзойти эту глубину: войти скважинами по крайней мере в базальтовый слой настолько, чтобы составить ясное представление о его составе. Сейчас ни одного образца пород, который заведомо происходил бы из базальтового слоя, мы не знаем.

Непосредственное проникновение в базальтовый слой даст чрезвычайно много нового для понимания внутренней жизни коры, зависимости ее верхних слоев от нижних, для понимания процессов метаморфизма и гранитизации, а также для освещения процессов формирования и движения рудоносных растворов, которые зарождаются в земной коре. Одновременно будет выяснено происхождение ряда структурных форм небольшого размера, связанных с процессами в коре.

Но сверхглубокое бурение может быть направлено и по другому «адресу». Мы напоминали о том, что под океанами кора чрезвычайно тонка. Если суметь спустить буровой инструмент через 4—5-километровую толщу океанической воды и потом пробурить твердые породы на дне океана на глубину в 5—6 км, то скважина достигнет кровли мантии Земли. Таким путем можно получить образец вещества, слагающего верхнюю мантию. Результат этого бурения также будет иметь большое принципиальное значение. От того, какое вещество мы там обнаружим, зависят правильные представления о процессах в верхней мантии, т. е. в конечном счете об основных причинах тектонических и магматических явлений.

ДВЕ ГИПОТЕЗЫ

В настоящее время существует две гипотезы о составе верхней мантии. Одна, господствующая, предполагает, что верхняя ман-

тия сложена ультраосновными породами — перидотитами или дунитами. Эти породы состоят главным образом из оливина, пироксена и граната. Другая гипотеза приписывает верхней мантии эволютивный состав. Как известно, эклогит идентичен по составу базальту или габбро, но представляет собой их плотную разновидность, состоящую из пироксенов и гранатов и имеющую плотность, не уступающую плотности ультраосновных пород (3,3—3,6 г/см³).

Магма, выделяющаяся из мантии, первично имеет основной (базальтовый) состав. Если верхняя мантия состоит из эклогита, то базальт может образоваться путем простого полного плавления материала с увеличением объема приблизительно на 10%. Если же верхняя мантия состоит из ультраосновных пород (гранатового перидотита), то базальт должен явиться результатом не полного, а частичного плавления: пироксен, входящий в состав перидотита, плавится при сравнительно невысокой температуре, когда другие минералы перидотита еще остаются твердыми, и именно в результате такого избирательного, или «инконгруэнтного», плавления этого минерала внутри сплошной массы перидотита должны появиться капельки базальта. Как показывают расчеты, последние образуют всего 5% по весу от исходной породы; остальные 95% остаются твердым перидотитом. Но этого незначительного выплавления (с превращением перидотита в своеобразную эмульсию) достаточно, чтобы снизить плотность перидотита и повысить его текучесть. Возможно, именно такой эмульсией базальта в перидотите является «волновод» в верхней мантии, играющий, по нашему предположению, решающую роль в тектонических и магматических процессах. Материал «волновода», достаточно нагретый и приобретя нужную подвижность, может всплывать к поверхности по тектоническим расколам. По дороге в нем происходит обособление базальта от остаточного перидотита: базальт продолжает подниматься, а перидотит остается внизу.

Проникнув в мантию и выяснив, из какого материала она состоит, мы сможем понять те процессы, которые лежат в основе тектонических и магматических явлений. В целом же оба пути использования техники сверхглубокого бурения, как мы видим, дополняют друг друга. Если оба они будут воплощены в жизнь, мы сможем получить исходные данные для полного суждения о

процессах в земной коре и в верхней мантии, под материками и под океанами.

Сейчас как раз по этим путям идет исследование, разрабатывается два проекта сверхглубокого бурения — советский и американский. Советский проект предусматривает бурение сверхглубоких скважин на материковой коре с целью изучения всего гранитного и, по крайней мере, верхней части базальтового слоев на глубину 10—15 км. Можно выбрать такие районы, где на этой глубине скважина заведомо войдет в базальтовый слой и позволит установить его состав. Это, например, советская часть Балтийского щита на территории Карелии и Кольского п-ва, а также Куринская низменность и Закавказье. На Балтийском щите глубинное сейсмическое зондирование показывает, что местами кровля базальтового слоя залегает на глубине всего 7—8 км, поэтому скважина в 10—12 км сможет установить его состав.

Исключительный интерес представит бурение на Южном Сахалине или на одном из островов Курильской гряды. Там, в зоне перехода от материка к океану, кора становится тоньше, чем во внутренних областях Евразии, и не исключена возможность, что в этих дальневосточных районах будет найден участок, где, пробурив 15 км, можно будет войти в верхнюю мантию. Во всяком случае, такая скважина даст полные сведения о строении базальтового слоя в переходной к океану зоне.

В настоящее время остро стоит проблема разработки техники сверхглубокого бурения на материке. Трудности здесь, конечно, велики. Буровой инструмент должен работать на глубине, где температура может достигать 400°. Какой взять металл для инструмента и для обсадных труб? А периодический подъем инструмента? Если такой подъем производить столь же часто, как это делается в обычных условиях, то одна сверхглубокая скважина будет буриться на протяжении человеческого поколения. Поэтому предстоит разработать принципиально новые способы бурения.

Сверхглубокая скважина не должна быть просто отверстием в земной коре. В ней необходимо провести широкий комплекс исследований при помощи приборов, которые должны в нее опускаться и работать при температуре до 400° и давлении столба воды в 150 атм. Создание такой аппаратуры требует огромной творческой работы. Вероятно, пройдет несколько лет, пока все эти слож-

нейшие технические вопросы будут решены.

Американский проект сверхглубокого бурения также ставит большие технические проблемы. Как известно, наши коллеги в США провели опыт опускания бурового инструмента сквозь толщу океанической воды свыше 3,5 км. Они проникли буровым инструментом в глубь пород океанического дна на глубину около 200 м, пройдя слои рыхлых осадков и базальтов. Для возобновления начатых опытов сейчас производится окончательный выбор места для бурения сквозь океаническую кору. Намечены районы близ о-ва Пуэрто-Рико, о-ва Антигуа и Гавайских островов. Что касается технической стороны, то теперь предполагается соорудить для буровой вышки платформу, которая на некоторой глубине под поверхностью океана (чтобы избежать влияния волн) будет удерживаться двумя подводными лодками.

Таким образом, сверхглубокое бурение позволит сделать основной шаг в направлении создания теории глубинных процессов и, вместе с тем, позволит разработать обоснованную теорию прогноза полезных ископаемых, исходящую из правильного представления о состоянии и свойствах земных недр.

Можно ли рассчитывать на то, что сверхглубокие скважины непосредственно приведут к практическим результатам и, например, обнаружат на большой глубине богатые скопления важных полезных ископаемых? Надо прямо сказать, что это маловероятно. Однако в одном направлении сверхглубокие скважины могут оказаться и непосредственно практически ценными. Известно, что с глубиной температура повышается; на глубине 15 км можно ожидать температуру до 400°. И вот перепад температуры между забоем и устьем скважины может быть использован как источник энергии. Если такое использование окажется успешным, то при помощи сверхглубоких скважин практически везде можно будет находить неиссякаемые источники тепловой энергии.

МАТЕМАТИЗАЦИЯ ГЕОЛОГИИ

Означает ли сверхглубокое бурение уменьшение роли геофизических «непрямых» исследований строения земной коры и верхней мантии? Нет, не означает. Как раз наоборот, в связи со сверхглубоким бурением значение таких методов еще повышается. Как уже отмечалось, сверхглубокие скважины явятся исходными точками для изучения глубинного строения широких территорий

при помощи геофизических методов, для которых они будут служить реперами. В связи с этим необходимо широко развивать региональные геофизические исследования.

Но дело не должно ограничиваться одной геофизикой. Вокруг подготовки и осуществления сверхглубокого бурения необходимо развить широкое комплексное изучение земных недр с помощью всех доступных нам методов не только геофизики, но и геологии, геохимии и геодезии, т. е. всех наук о Земле. Перед таким комплексным исследованием следует поставить задачу сравнительного изучения тектонических зон. Эти исследования должны, насколько это возможно, выяснить строение земной коры и верхней мантии в разных тектонических зонах и характер происходящих в них современных процессов — тектонических, сейсмических, термических, вулканических и пр. Основной целью должно быть выяснение связей между поверхностным геологическим строением и развитием этих тектонических зон, с одной стороны, и их глубинным строением, с другой. Поскольку разные тектонические зоны отвечают разным стадиям развития верхних оболочек земного шара, сравнение глубинного строения разных зон позволит также судить и о тех изменениях в строении недр, которые происходят в ходе тектонической эволюции.

В этом комплексе перед геологией стоит задача изучения геологического строения верхних слоев земной коры, истории тектонических, магматических и метаморфических процессов и установление закономерностей в развитии последних. При этом, стремясь к тесному сотрудничеству с другими науками о Земле, развивающимися в основном на базе количественных методов, геологи также должны добиваться возможно более широкого освоения количественных методов исследования. Было бы неправильно считать, что всю геологию можно превратить в количественную науку. Характер материалов, которыми она пользуется, и сложность изучаемых ею процессов препятствуют этому. Но все же остаются еще широкие возможности для дальнейшего внедрения в геологию числа и меры. Для этого необходимо, чтобы геологи больше обращали внимания на абсолютную скорость геологических процессов, на количественное выражение объемов геологических тел и амплитуд тектонических движений, на более объективное выражение закономерностей

пространственного расположения различных тектонических зон и структур. Этот процесс «математизации» геологии уже идет, но он может быть ускорен.

В том же комплексе исследований различные отрасли геофизики совместно должны дать картину распределения физических свойств материала коры и верхней мантии, предоставив, таким образом, нам возможность судить о толщине земной коры, о вертикальной и горизонтальной неоднородности ее и верхней мантии, о продолжении на глубину крупных геологических тел и разломов.

Геофизические методы дадут представление и о современных физических процессах в земных недрах, среди которых главное место занимают сейсмические и термические. Распределение тепловых потоков в различных тектонических зонах, выявляемое с помощью геотермических наблюдений, даст материал для суждения об энергетике земных недр и о размещении в них горячих и холодных масс. Тектонофизика может поставить своей целью восстановление истории древних полей тектонических напряжений и разгадку физического механизма тектонических деформаций. Геодезия в содружестве с геоморфологией должна изучить распределение современных и новейших тектонических движений. Геохимия, опираясь на геологические и геофизические данные, должна дать представление о возможном вещественном составе глубинного материала и об изменении этого состава во времени. Изучение физических и физико-химических свойств горных пород в условиях высоких давлений и температур существенно поможет формированию правильных представлений о глубинных процессах.

Для наилучшего выполнения этих задач все отрасли наук о Земле должны непрерывно совершенствоваться и расширять свои методические возможности. Например, от геофизики и геохимии требуется приведение их «разрешающей способности» в соответствие с размерами не только крупных, но и частных тектонических зон, отдельных больших магматических массивов, зон разломов и т. п. Все перечисленные виды исследований уже ведутся и довольно широко. Правда, они ведутся разными методами, без сознательной привязки к определенным типам тектонических зон, не согласованы между собой. Но некоторые выводы принципиального значения из этих исследований можно сделать уже сейчас. Например, установ-

ление теснейших и закономерных связей в строении между корой и верхней мантией делает окончательно неприемлемой давно обсуждаемую идею горизонтальных перемещений материков: сейчас уже нельзя думать о движении коры относительно мантии; кора и верхняя мантия (т. е. толща материала около 1 тыс. км. мощности) должны двигаться вместе. При этом процессы, происходящие внутри верхней мантии и вызывающие на поверхности обширные поднятия и прогибы, должны сохранять свою направленность и свое местоположение в течение сотен миллионов лет, как на это указывает длительная пространственная стабильность таких областей поднятия, как Балтийский, Канадский или Бразильский щиты, или такие области не менее длительного прогибания, как Московская синеклиза и бассейн Конго.

Однако наши представления о глубинных процессах будут развиваться и уточняться гораздо быстрее и успешнее, если комплексные геолого-геофизико-геохимические исследования будут вестись по согласованной программе и, что самое главное, если получаемые разными методами результаты будут интерпретироваться совместно. Такой подход к изучению эндогенных процессов было предложено назвать «геономическим».

Комплексные исследования, представляющие уже сами по себе огромный научный интерес, приобретут особенно выдающееся значение для развития всех наук о Земле, когда в тот же комплекс будет реально включено сверхглубокое бурение и мы сможем непосредственно прикоснуться к тому таинственному веществу, которое находится всего в 10—15 км под нашими ногами.

* * *

Земной шар был и останется домом для человечества. К нему всегда будет возвращаться космонавты, как бы далеко они ни залетали в окружающее нас пространство. Недра земного шара верно служат человеку, снабжая его всеми материалами, необходимыми для цивилизации. Они будут служить ему и впредь, так как богатства их неисчерпаемы. И в дальнейшем человек будет продолжать широко пользоваться минеральными ресурсами, получая из них сырье, в сущности, для всех своих технических изделий, а также для выработки энергии. Но чтобы суметь воспользоваться этими богатствами наиболее эффективно, необходимы исследования о которых мы рассказали.

УДК 622.248; 550