

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЗЕМНОГО ШАРА

Профессор В. В. Белоусов



В статье о строении и развитии земной коры¹ мы привели главнейшие данные о последовательности различных движений земной коры и о сочетании этих движений. В той же статье излагались основные закономерности развития земной коры. Сейчас мы намерены остановиться на возможных причинах ее тектонических движений, а также на тех процессах, которые происходят на глубине сотен и тысяч километров и от которых в большой степени зависит развитие Земли как планеты.

Эти процессы исключительно важны для понимания последовательного развития Земли. Для их объяснения было создано множество геотектонических и геофизических гипотез. Нам также не обойтись здесь без гипотетических соображений. Мы намерены проанализировать изложенные в указанной статье данные о характере и последовательности движения земной коры для объяснения процессов, происходящих на больших глубинах под ней. Но так как сведения о составе и свойствах вещества глубоких недр Земли пока ограничены, наши выводы могут носить лишь самый общий характер.

* * *

Геологические наблюдения убедительно доказывают, что главнейший глубинный про-

цесс, определяющий развитие нашей планеты, — это расслоение слагающего его вещества, грубо говоря, по плотности: более легкое вещество поднимается кверху, а более тяжелое опускается вглубь. К этому выводу приводят следующие соображения.

Среди вулканических лав, ранее излившихся на поверхность Земли и изливающихся теперь, подавляющее большинство принадлежит тяжелым темным базальтовым лавам, относительно бедным кремнеземом (менее 50% SiO₂) и богатым окислами магния и железа. Во многих местах излившиеся на поверхность базальты залегают огромными массами, весьма однородными по составу. Важно и то, что базальты в большом количестве изливаются в спокойных тектонических зонах — на платформах. Между тем доступные нам относительно поверхностные части земной коры везде как в подвижных зонах (геосинклиналях), так и в особенности на платформах сложены преимущественно сравнительно легкими светлыми магматическими породами, главным образом гранитами, внедрившимися в земную кору и застывшими внутри нее. Эти граниты содержат много (выше 70%) кремнезема и мало окислов магния и железа.

Из этого следует, что под поверхностным слоем земной коры, состоящим главным образом из гранитов, лежит мощный базальтовый слой. Там, где в земной коре имеются

¹ См. «Природа», 1951, № 9, стр. 21—32.

глубокие трещины, базальт изливался через них на поверхность, и в таких местах он встречается в наименее измененном виде, так как почти не вступает в химическое взаимодействие со встречающимися на его пути породами.

Резкое преобладание гранитов среди внедрившихся пород объясняется механизмом образования гранитов, весьма сложным и еще в точности не выясненным. Однако можно считать установленным, что большие гранитные массивы (так называемые батолиты) возникли в результате весьма активного взаимодействия первичной магмы, поднимающейся из глубины, с породами, в которые она внедряется. Это взаимодействие состоит либо в том, что магма поглощает вмещающие породы, либо в том, что эти породы «гранитизируются», хотя последний процесс пока не вполне ясен. В результате получаются кислые (т. е. содержащие высокий процент кремнезема) внедрения.

Но это не означает, что первичный магматический материал, вызывавший образование гранитных батолитов, состоял из базальта.

На окраинах геосинклиналей и платформ, в переходной между ними зоне, широко распространены так называемые малые внедрения. Они воздействуют на вмещающие породы не столько химически, сколько механически, и состав их, преимущественно щелочной (так как они обогащены окислами натрия и калия), повидимому, мало зависит от окружающих пород. В число этих внедрений входят породы средней плотности — сиениты, нефелиновые сиениты, монзониты и др. Весьма вероятно, что эти породы образовались непосредственно из базальта путем его дифференциации, т. е. расслоения: более тяжелые составные части опускались вниз, а более легкие всплывали. Легкие составные части, повидимому, и представляют собой малые щелочные внедрения. Что при дифференциации базальта действительно получают породы этого типа, доказывает наличие небольших массивов трахитов, трахита, тефрита и других щелочных пород среди базальтовых лав Гавайских островов. Очевидно, эти породы произошли там в результате расслоения лав.

Можно думать, что образование таких магм, их внедрение в земную кору под большим давлением и химическое взаимодействие с осадочными и метаморфическими породами приводят при соответствующих условиях

к насыщению земной коры гранитом и, следовательно, к образованию гранитных массивов.

В нашей статье о строении и развитии земной коры указывалось, что история Земли распадается на ряд «тектонических этапов», которые определяются некоторой периодичностью тектонических движений. Эта периодичность проявляется, например, в развитии вертикальных медленных движений земной коры. В начале каждого этапа на материках преобладают опускания коры. Поэтому море наступает на сушу. В конце же этапа преобладают поднятия — участки суши расширяются за счет морей, и образуются горы. Лучше всего нам известны последние три этапа. Каждый из них продолжался около 150 млн. лет. В течение этих этапов земная кора разделялась на зоны большой подвижности — геосинклинали — и зоны значительно более спокойные — платформы. В геосинклиналях большая интенсивность движений вызывала образование близко расположенных друг к другу глубоких впадин и высоких гор. Кроме того, в геосинклиналях в каждом этапе слои горных пород периодически сминались в складки. Гранитные и отчасти другие магматические внедрения прорывали эти слои. Постепенно, от одного этапа к другому, сокращалась площадь геосинклиналей и расширялись платформы.

В течение каждого тектонического этапа в геосинклиналях на глубине вещество магмы расслаивается, причем это расслоение происходит последовательно. В начале этапа изливаются базальтовые лавы. Затем, чередуясь с ними, появляются средние и кислые лавы. Последние к концу первой половины этапа начинают преобладать. Это изменение состава излияний является, очевидно, результатом все большей дифференциации базальтового слоя: на поверхности его накапливаются все более легкие и, следовательно, все более кислые составные части.

В эпоху поднятия (т. е. во второй половине этапа) отделившиеся кислые составные части внедряются в земную кору. Взаимодействуя с ней, они образуют гранитные включения. Позже, когда образуются горы, земная кора, вздымаясь, растрескивается. По трещинам поднимаются магмы различного состава. Разнообразие его вызывается продолжающейся в глубине дифференциацией. В самом же конце этапа, после завершения дифференци-

дии, снова выливается однородная первичная базальтовая лава. С каждым внедрением гранитов в поднятых земной коры внутри геосинклиналей образуются батолиты. С течением времени поднятия и прогибы перемещаются, меняются местами. Поэтому в конце концов земная кора в геосинклиналях всюду пополняется гранитом. Таким образом постепенно формируется гранитная, так называемая сиалическая, оболочка Земли. Вся она состоит из образовавшихся в разное время гранитных внедрений или продуктов их разрушения.

Первоначально, когда вся поверхность Земли охватывалась геосинклиналями, гранитная земная кора образовывалась всюду. Поэтому преобладающая часть коры — весьма древняя. Но процесс ее образования продолжался и позже, — когда появились и разрастались платформы. Но так как на платформах к тому времени процесс этот уже закончился, то он продолжался только в геосинклиналях.

Итак, мы считаем, что гранитный слой земной коры образовался в результате дифференциации, происходившей в верхней первичной базальтовой оболочке Земли. Чрезвычайно важно подчеркнуть, что эта дифференциация не закончилась на ранних стадиях развития Земли. Она продолжается и в наши дни, так как ею обусловлено происхождение самых молодых гранитных внедрений альпийского времени.

Поэтому с геологической точки зрения неприемлемы те космогонические гипотезы, которые предполагают образование Земли в раскаленном газообразном состоянии: в этом случае расслоение материала внутри планеты завершилось бы слишком быстро, еще в догеологической стадии. Наоборот, следует признать более правильными гипотезы, допускающие длительный срок дифференциации. Такова прежде всего гипотеза академика О. Ю. Шмидта. По этой гипотезе Земля образовалась в твердом виде и дифференциация происходила весьма медленно и долго.

В каких условиях происходит дифференциация базальтового слоя?

Равновесие физико-химических систем, находящихся в гравитационном поле, подчиняется законам, устанавливаемым термодинамикой. Мы не будем касаться этой области. Напомним лишь, что равновесие

зависит от состава системы, от свойств входящих в нее веществ и от распределения температуры и давления. Изменение хотя бы одного условия нарушает равновесие и вызывает перераспределение ее составных частей.

Иногда полагают, что процессы, происходящие внутри Земли, носят только механический характер, что дифференциация состоит лишь в механическом разделении составных частей по плотности. Но это возможно лишь при условии, когда составные части разной плотности образуют достаточно крупные тела и когда они пластичны, так что могут течь друг против друга, всплывая или погружаясь. Такой процесс совершенно невозможен в растворе или в мелкодисперсной смеси. Между тем трудно представить себе, чтобы Земной шар первоначально образовался из крупных тел разной плотности.

По гипотезе О. Ю. Шмидта, Земля образовалась из очень мелких метеоритов, т. е. строение ее на первых порах должно было приближаться к однородной смеси. Точно так же нет никаких оснований предполагать, что внутри базальтового слоя уже заключаются крупные тела более кислого, чем он, состава. Наоборот, вполне очевидно, что там, где еще нет дифференциации, базальтовый слой является вполне однородным раствором силикатов. Расслоение этого раствора — процесс не механический, а физико-химический, диффузионный. А процесс этот по своей природе принципиально может быть обратимым. Мы увидим далее, что частичная его обратимость внутри Земли весьма вероятна.

Наконец, физико-химическое истолкование дифференциации позволяет понять такие явления, которые необъяснимы с чисто механической точки зрения. Например, когда всплывают легкие силикаты, вместе с ними поднимаются, несмотря на свою большую плотность, тяжелые радиоактивные элементы, их увлекают вверх геохимические связи с легкими окислами.

Едва ли возможно сейчас точно рассчитать термодинамическое равновесие для условий внутренности Земли. Как показывают грубые прикидки, для равновесия в поле силы тяжести Земли необходимо, чтобы с глубиной возрастало содержание кальция, магния и железа. Это совпадает с обычными

представлениями о размещении вещества внутри Земли. Нам также ясно, каким образом должны изменяться условия для того, чтобы они способствовали расслоению вещества Земли или, наоборот, усилению его однородности. Для первого нужно понижение температуры и давления, для второго — их повышение. Если же одновременно с изменением температуры и давления меняется и состав вещества, то обстановка значительно усложняется.

Если в конце одного этапа и в начале следующего характер базальтовых излияний одинаков, то значит в эту эпоху в верхних оболочках Земли достигается временное равновесие. В геосинклиналях оно нарушается с того момента, когда земная кора начинает прогибаться. Когда состав лав изменяется и теряет свою устойчивость, то, следовательно, равновесие нарушено и началась дифференциация. Чем вызывается потеря устойчивости — неизвестно: быть может, изменением температуры и давления под земной корой.

Вместе с тем не следует полностью отрицать значения механических глубинных процессов. Сначала материал разделяется под действием физико-химических сил, и внутри него образуются крупные тела различной плотности. Если среда достаточно пластична, то эти тела уже под действием чисто механических сил могут двигаться вверх и вниз.

Процесс дифференциации должен сопровождаться дополнительными явлениями. Уже указывалось, что радиоактивные элементы концентрируются вместе с кислыми веществами. Но эти элементы являются источниками тепла. Поэтому скопления кислого материала должны быть местными очагами разогревания. Мы высказали в свое время предположение, что местное радиоактивное разогревание в таком скоплении вызывает его расширение. Тогда возникает сильное давление на земную кору снизу, кора поднимается и в нее внедряется кислая магма.

Температурные явления этим не ограничиваются. Кислый материал, сперва сосредоточившийся под земной корой, поднимается еще выше. Затем, образуя гранитные включения, он проникает внутрь коры. Передвигающиеся вместе с ним радиоактивные элементы приближаются к поверхности.

Теперь большее количество выделяемого ими тепла уходит в окружающее пространство. Поэтому данная область коры и пространства под ней должны с течением времени охладиться по сравнению с соседними участками. Таким образом, перераспределение радиоактивных элементов в недрах в связи с дифференциацией глубинного материала может приводить к различной степени нагревания отдельных участков.

До сих пор шла речь о дифференциации в базальтовом слое, непосредственно подстилающем земную кору. Но такая же дифференциация должна развиваться и в более глубоких слоях Земного шара. Несомненно, ею вызвано разделение всей планеты на оболочки разного состава.

Однако на больших глубинах условия для дифференциации должны быть неблагоприятными. Это объясняется, во-первых, повышением вязкости под влиянием возрастающего давления со всех сторон и, во-вторых, уменьшением силы тяжести. Последняя, как предполагается, достигает максимума на глубине около 1000 км, а далее уменьшается и в центре Земли доходит до нуля. Поэтому некоторые исследователи основательно допускают, что либо все ядро Земли, либо «внутреннее ядро» не подвергается дифференциации и состоит из первичного сильно сжатого материала. Но в средней оболочке, так называемой мантии Земли, дифференциация должна происходить, однако, гораздо медленнее, чем в верхних оболочках.

Быть может, поэтому последние, судя по сейсмическим данным, разделены более дробно, чем мантия.

Невероятно, чтобы поверхностные явления (излияние лавы, местное охлаждение и т. п.) могли оказывать заметное влияние на условия глубоких частей планеты. Поэтому следует думать, что дифференциация на большой глубине вызывается исключительно первичным стремлением вещества к равновесию. С самого начала распределение материала внутри Земли было неравновесным для гравитационного поля, и до сих пор в глубине продолжается процесс перераспределения вещества.

Хотя дифференциация — общее явление для всего Земного шара, различие ее условий на разных глубинах позволяет допустить, что в ее развитии отдельные

«этажи» до некоторой степени автономны. Это объясняется главным образом тем, что дифференциация протекает с разной скоростью: в верхних слоях быстрее, чем в нижних. Возможно также, что на условия в верхних слоях влияют поверхностные процессы, которые на большой глубине не сказываются. Наконец, состав вещества, находящегося в равновесии с окружающими условиями, должен изменяться из-за разницы в температуре и давлении.

Мы формулируем идею «многоэтажности» процесса дифференциации, играющую большую роль в нашей концепции. Эта идея допускает, что дифференциация может продолжаться на некоторых этажах после того, как она уже закончилась на других.

Не следует, впрочем, эту «многоэтажность» понимать односторонне и предполагать полную изолированность этажей. Мы имеем в виду лишь разделение целостного процесса как бы на отдельные части, связанные друг с другом.

Можно предположить, что процесс дифференциации глубинного материала вызывает медленные вертикальные движения земной коры, приводящие к образованию на поверхности прогибов и поднятий. Если отделившийся и собравшийся в большой «пузырь» кислый материал поднимается под небольшим сравнительно участком земной коры, то и она должна подняться над этим местом. Это подтверждается многочисленными наблюдениями: они показывают, что с поднятиями, как правило, связываются выходы легкой кислой магмы, тогда как тяжелая основная магма обычно изливается над прогибами.

Большие поднятия и глубокие прогибы всегда образуются рядом, а небольшие поднятия сопровождаются небольшими же прогибами. Предполагаемый механизм вертикальных движений земной коры позволяет понять эту зависимость: если кислый материал всплывает, то лежащий рядом с ним тяжелый должен опускаться вниз.

Когда над прогибающейся геосинклиналью происходит дифференциация базальтового слоя, то над ним, как мы знаем, накапливается кислый материал. Всплывая, он вызывает поднятие земной коры рядом с прогибом.

Но все эти процессы нельзя рассматривать в рамках действия одной силы тяжести.

Если бы они зависели только от этой силы, всюду было бы полное гравитационное (изостатическое) равновесие. На самом же деле наблюдаются заметные отклонения от него. Например, Большой Кавказ перегружен, и его современное поднятие происходит против изостатических сил. Напротив, некоторые океанические впадины недогружены. Но, несмотря на такие отклонения, в целом все же имеется тенденция к изостатическому выравниванию. Оно постепенно устанавливается там, где движения земной коры происходят медленно и спокойно. Отклонения, очевидно, вызываются тем, что в физико-химической стадии дифференциации происходящие в недрах земли процессы зависят не только от плотности их материала, но и от других, более сложных его свойств. Вспомним, например, о радиоактивных элементах, которые при дифференциации поднимаются вверх вопреки их большой плотности.

Анализ этой проблемы в дальнейшем сможет многое прояснить в механизме внутреннего перераспределения материала.

Температурные явления, сопровождающие дифференциацию, также осложняют процесс. Разогревание, вызываемое концентрацией радиоактивных элементов в массивах кислого материала, сопровождается расширением вещества. Расширение усиливает процесс поднятия земной коры и внедрения кислых масс и в то же время влияет на распределение плотностей.

Последующее относительное охлаждение, вызванное проникновением радиоэлементов в земную кору и приближением их к поверхности, наоборот, может приводить к местному сжатию или к отставанию в расширении вещества. Это также не может не влиять на гравитационные условия.

В высказываемых соображениях лишь намечается путь возможного истолкования процессов, о которых идет речь. Но само истолкование должно явиться результатом дальнейшего, более точного анализа.

Е. Н. Люстих, сопоставляя гравиметрические данные с движениями земной коры, пришел к выводу, что медленные колебательные движения в основном определяются перемещениями под корой масс, перетекающих из-под прогибов к поднятиям. Наши предположения вполне согласуются с этим выводом.

Как показывают наблюдения, развитие строения земной коры в течение геологической истории состояло в основном в том, что подвижные геосинклинальные участки постепенно сменялись спокойными платформенными. Геосинклиналь отличается от платформы обилием складчатых и разрывных деформаций. Но последние следует рассматривать как вторичные осложнения вертикальных колебательных движений, поэтому их пока можно оставить в стороне.

С нашей точки зрения закономерность перехода от геосинклинали к платформе надо объяснить многоэтажностью дифференциации и ее различной скоростью на разных «этажах».

Н. С. Шатский впервые отметил, что платформенные и геосинклинальные зоны поднятия и прогибания земной коры неравноценны. Оказалось, что наблюдающиеся на платформах пологие поднятия и прогибы земной коры (антеклизы и синеклизы) не ограничиваются пределами платформ. Они распространяются и в пределы геосинклинали. Там они как бы «интерферируют» с собственными геосинклинальными зонами интенсивных поднятий и опускания и «просвечивают» сквозь них. Н. С. Шатский указал два примера. Один касается юга Русской платформы и ее сочленения с Кавказом. Здесь пологие зоны поднятия и опускания Русской платформы прослеживаются в пределах кавказской геосинклинали. Так, пологий прогиб (синеклиза) Нижнего Поволжья прослеживается на юг в район Каспия и далее в пределы Кавказа. Восточная часть Большого Кавказа, лежащая как раз на продолжении синеклизы, в течение долгого геологического времени прогибалась сильнее, чем другие его части. Поэтому здесь накопились особенно большие толщи юрских отложений, а палеозойские и более древние породы погружены очень глубоко.

Западнее, на юге Русской платформы прослеживается вытянутая в том же меридиональном направлении зона пологого поднятия — антеклиза. К ней принадлежит так называемое Ставропольское поднятие. Оно тянется дальше к югу, в пределы Большого Кавказа и определяет его главный поперечный антиклинальный (выпуклый) перегиб на меридиане Минеральных Вод. Еще западнее синеклиза Азовского моря

соответствует северо-западному погружению Кавказского хребта.

Второй пример относится к взаимоотношению Русской платформы и Урала. На востоке Русской платформы имеется зона поднятия, к которой принадлежит Уфимское плато. Эта зона не ограничивается платформой. Она простирается в широтном направлении (поперечно Уралу) и продолжается в его пределы, создавая поперечный перегиб в Уральской геосинклинали.

Таких примеров можно привести много. Повидимому, они доказывают, что повсюду имеется закономерность: платформенные зоны поднятия и опускания — антеклизы и синеклизы — более общи, и их можно обнаружить как на платформах, так и в геосинклиналах, а геосинклинальные прогибы и поднятия имеют местное значение. Они накладываются в геосинклиналах на антеклизы и синеклизы. Это позволяет думать, что расчленение земной поверхности на пологие и спокойные антеклизы и синеклизы вызвано какими-то глубинными процессами, а расчленение геосинклинали на резкие прогибы и поднятия — более поверхностными. Глубинные процессы действуют и в геосинклиналах. Но в последних прибавляется влияние весьма активных более поверхностных процессов. Эти процессы приводят к образованию очень резких и контрастных прогибов и поднятий, затушевывающих влияние более спокойных глубинных процессов. Но когда с переходом от геосинклинали к платформе верхний этаж движений снимается, картина более глубоких движений вырисовывается со всей четкостью.

Такое предположение подтверждается и тем, что говорилось выше о различной скорости движения на разных этажах.

Можно думать, что способность материала расслаиваться в данных условиях не беспредельна. Рано или поздно она должна исчерпаться. Дифференциация прекратится, когда в данных условиях установится временное равновесие.

Мы говорили, что в верхних слоях Земли дифференциация должна развиваться быстрее, чем в глубине. Следовательно, и закончиться она вверху должна раньше, чем на нижних этажах. Поэтому мы допускаем, что интенсивные геосинклинальные вертикальные движения земной коры вызываются

энергичной дифференциацией [в верхних «этажах», а платформенные движения — дифференциацией, протекающей на большой глубине. Быстрая дифференциация в верхних слоях заканчивается раньше. Тогда геосинклинальные движения как бы снимаются, и отчетливее проявляются движения, вызываемые более глубокой, более медленной и длительной дифференциацией.

Относительная медленность платформенных колебательных движений отражает медленный ход глубинной дифференциации. С этой точки зрения понятно и то, что площади отдельных зон поднятий и опусканий на платформах больше, чем в геосинклиналиях. Можно подметить также, что площади поднятия и опускания поверхности, вызванные глубинными перемещениями масс, имеют по большей части округлые или неправильные очертания, а в геосинклиналиях эти площади имеют вид сильно вытянутых овалов.

Говоря о связи движений на платформах с более глубокими зонами, мы имеем в виду образование поднятий и прогибов первого порядка (антеклиз и синеклиз). В частных масштабах дифференциация на платформе может продолжаться и в верхнем этаже, причем здесь формируются наиболее мелкие структурные формы — купола и валы.

Итак, мы считаем, что повсеместная сложность колебательных движений, состоящая в соединении движений разного порядка, определяется многоэтажностью процесса дифференциации материала Земли. Взаимная связь движений разных порядков отражает связь между этажами, а различия в плане распределения и в их развитии соответствуют степени автономии этажей.

Мы не решаем сейчас вопроса о мощности отдельных этажей, их строении и составе. Верхний этаж должен охватывать всю земную кору с ее гранитным и базальтовым слоями и какую-то еще более глубокую толщу, так что мощность этого этажа едва ли меньше ста километров. Геофизические данные пока еще слишком неопределенны, чтобы можно было пытаться сейчас предположить возможное число и мощность этажей.

Обратимся к проблеме происхождения материков и океанов.

В упоминавшейся выше статье уже указывалось, что по геологическим данным в прежние периоды площади материков были больше, чем теперь. Повидимому, на ранних

стадиях развития Земли ее поверхность не была расчленена на материки и океаны. Когда вся поверхность Земли была в геосинклинальном состоянии, она делилась на множество прогибов и поднятий, более или менее равномерно распределенных. В прогибах могли существовать глубокие моря. Но крупных обособленных океанов тогда еще, повидимому, не было. Материки и океаны могли образоваться после того, как оформилась уже достаточно развитая гранитная оболочка. Как уже указывалось, одновременно с этим радиоактивные элементы поднимались к поверхности, следовательно, к ней приближались источники тепла и облегчался отток последнего наружу. Это должно было либо охлаждать, либо, по крайней мере, задерживать разогревание подкоровых областей Земли.

Мы назовем этот процесс процессом относительного охлаждения. Он должен проявляться в масштабе всего Земного шара, так как образование гранитной оболочки происходит повсеместно. Однако, как и само приближение радиоэлементов к поверхности, относительное охлаждение подкоровых областей Земли должно происходить неравномерно, с различной скоростью, обнаруживаясь в одних местах раньше, в других — позже. Это должно вызывать и неравномерное сжатие Земли: оно может быть либо абсолютным, либо относительным, т. е. расширение в некоторых областях может отставать, если вся Земля в целом, как полагает О. Ю. Шмидт, до сих пор разогревается и расширяется.

Мы предполагаем, что именно этот процесс относительно неравномерного сжатия Земного шара и проявляется в образовании океанических впадин. Относительное сжатие началось в недавнее время, когда радиоэлементы в связи с образованием гранитного слоя поднялись уже достаточно близко к поверхности. Это относительное сжатие не имеет ничего общего с тем абсолютным сжатием планеты, которое устанавливала старая контракционная гипотеза: с ним не связано сжатие слоев в складки. По нашему предположению, это неравномерное относительное сжатие приводит к относительному же и неравномерному оседанию отдельных участков земной коры. А в результате образуются и продолжают расширяться океанические впадины.

Как же объяснить те различия в строении земной коры под материками и океанами, которые показывает сейсмический метод? При его помощи установлено, например, что под центральными частями Тихого океана гранитного слоя вовсе нет, а под Индийским и Атлантическим океанами он много тоньше, чем под материками. Многие исследователи считали, что эти различия носят первичный характер и что первоначальные различия в толщине гранитного слоя предопределили размещение материков и океанов. Другие полагали, что гранитный слой рос хотя и постепенно, но неравномерно, и из-за этой неравномерности поверхность Земли разделилась на большие выпуклости и впадины. Наконец, академик В. И. Вернадский высказал мысль, что небольшая толщина гранитного слоя определила местоположение материков, а гранит образовывался только в материковых условиях, и этим объясняется неравномерность толщины гранитного слоя под материками и океанами.

Таким образом, все объяснения связывают образование гранитного слоя либо как причину, либо как следствие с материковыми условиями. Это заключает в себе известное противоречие, которому, однако, можно найти объяснение. Согласно геологическим данным, на месте значительной части Индийского и Атлантического океанов до самого недавнего времени существовали материки. В палеозое большой материк объединял Южную Америку, Индию и, может быть, Австралию. До третичного времени существовал материк в северной части Атлантики. Эти материки по своему строению едва ли как-нибудь существенно отличались от современных. Они опустились в океан в конце мезозоя. Следовательно, различие в толщине гранитного слоя между ними и современными материками могло быть вызвано лишь теми процессами, которые происходили после этого периода. Но этот срок ничтожно мал по сравнению со всей продолжительностью геологической истории. Кроме того, вспомним, что гранитные внедрения образуются только в геосинклиналях, а подавляющая часть территории современных материков к концу мезозоя была уже платформой.

Итак, различие в толщине гранитного слоя возникло после того, как эта толщина практически уже была одинаковой под ма-

териками и под океанами. Другими словами, оказывается, что накопление гранитного слоя может быть обратимым процессом.

Надо предположить, что, когда океанические впадины погружались, гранитный слой частично разрушался, быть может, растворяясь в глубже лежащем базальтовом слое.

Центральная часть Тихого океана является сейчас платформой. Поэтому мы предполагаем, что на ее месте в свое время также должен был находиться гранитный слой, соответствующий платформенным условиям. Он был разбит трещинами, пронизан огромным количеством базальтовых жил, перекрыт базальтовыми излияниями, и в конце концов его обломки полностью «утонули» и растворились в базальте.

Картина образования океанов на Земле, с нашей точки зрения, весьма сходна с образованием лунных «морей». А. В. Хабаков недавно показал, что на месте этих «морей» раньше находились возвышенные области (лунные «материки»), сложенные кислыми вулканическими породами и изобиловавшие вулканическими конусами и кратерами. «Моря» образовались в местах наибольшего вадутия материков после того, как те были разбиты трещинами и частично осели. При обрушении опущенные участки были залиты огромными толщами основной лавы, над поверхностью которой кое-где виден вулканический рельеф затопленного материка. Сходство развития лунных «морей» и земных океанов настолько разительно, что трудно считать его случайным. Повидимому, механизм относительного неравномерного оседания и связанные с этим излияния основных лав в обоих случаях был принципиально одинаковым.

Последний вопрос, которого мы здесь касаемся в связи с рассмотрением глубинных процессов,— это «оживление» старых платформ и возобновление на них движений, похожих на геосинклинальные. Такое оживление имело место в самое последнее время в Центральной Азии. Здесь еще с середины или с конца палеозойской эры установился спокойный платформенный режим. Но с середины третичного периода возобновились интенсивные вертикальные движения земной коры: образовались высокие хребты и впадины между ними. Так произошли горы и депрессии Тянь-Шаня, а также Южной и Восточной Сибири.

Мы считаем, что объяснение этому явлению надо искать в той же многоэтажности процесса дифференциации материала Земли. Хотя, как мы указывали, многоэтажность и предполагает некоторую независимость этажей, она ни в коем случае не исключает связи между ними. Допустимо, что хотя на том или ином этапе дифференциация может достигнуть достаточного развития раньше, чем на состав этого этажа заметно повлияют более глубинные и более медленные процессы, все же в конце концов влияние последних скажется и здесь: снизу проникнет некоторое количество вещества в верхний слой и изменит его состав. А это нарушит равновесие и может вызвать возобновление дифференциации в верхнем слое.

* * *

Попытаемся сформулировать некоторые выводы.

Мы предполагаем, что ведущим глубинным процессом, определяющим развитие Земного шара, является дифференциация вещества, начавшаяся с момента образования Земли и медленно продолжавшаяся в течение всей геологической истории вплоть до наших дней. Медленное развитие дифференциации заставляет склониться в пользу той космогонической гипотезы, которая предполагает образование Земли в твердом виде (гипотеза О. Ю. Шмидта). Дифференциация состоит в перераспределении вещества в основном по плотности, но с осложнениями, иногда существенными, вызванными геохимическими свойствами элементов и их комбинаций. Эти осложнения определяют отклонения от изостатического равновесия.

Дифференциация представляет собой физико-химический, но на дальнейших стадиях и механический процесс. В ней мы видим причину медленных вертикальных движений земной коры. Дифференциация развивается многоэтажно, что обуславливает сложность этих вертикальных движений.

В верхних этажах дифференциация происходит быстрее, чем в глубоких, и поэтому тектоническая активность верхних слоев расходуется раньше. В результате земная кора развивается от геосинклинальной к платформенной стадии. Однако в дальнейшем продолжение дифференциации на более глубоких уровнях может привести к притоку вверх нового материала, нарушению установившегося равновесия и к возобновлению в верхнем этапе процессов дифференциации.

Поэтому следует отказаться от мысли об угасании тектонической активности Земли, мысли, навеянной наблюдаемой сменой геосинклинального режима платформенным в течение геологического времени. Можно говорить лишь об исчерпании тектонической энергии верхних этажей. Но энергия эта еще сохраняется на более глубоких уровнях, откуда она постепенно поступает к поверхности.

Процесс миграции радиоэлементов вверх в связи с формированием гранитной коры имеет планетарное значение, и с ним связано повсеместное относительное охлаждение подкорового вещества, выраженное, возможно, не абсолютно, а лишь в замедлении процесса общего разогрева Земли, предполагаемого теорией О. Ю. Шмидта. Это относительное охлаждение развивается неравномерно, проявляясь сперва в некоторых местах, потом распространяясь на другие. С неравномерным относительным охлаждением связано неравномерное же относительное сжатие подкорового вещества. Последнее в свою очередь приводит к неравномерному оседанию земной коры с образованием океанических впадин. Это оседание, возможно, не представляет собой абсолютного опускания дна океана, а является лишь отставанием некоторых участков в общем процессе расширения Земли, как это предполагает О. Ю. Шмидт. Такое относительное оседание постепенно распространяется на новые участки.