

В.Н. Лодочников

Краткая петрология без микроскопа

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 55
ББК 26.3
В11

В11 **В.Н. Лодочников**
Краткая петрология без микроскопа / В.Н. Лодочников – М.: Книга по Требованию, 2024. – 157 с.

ISBN 978-5-458-40322-1

Книга Владимира Никитича Лодочникова содержит основы науки о горных породах, ее цели, задачи, а также методы полевой, и представление о способах камеральной работы петролога. Дано описание главнейших пород и приведены способы их распознавания при полевой работе.

ISBN 978-5-458-40322-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Поэтому понятно, в-третьих, что книжка, предлагаемая также и для неспециалистов, очень далеко стоящих от геологии — инженеров, химиков, агрономов, естествоиспытателей, географов, просто любителей природы и путешественников, — должна дать понятие о предмете, целях и задачах петрологии, чтобы тем самым побудить их не пренебрегать, особенно в глухих и отдаленных экспедициях, никакими обнажениями горных пород, отбивая хотя бы только небольшой образец последних и записывая его местонахождение. Даже таким способом он может иногда приести огромную услугу обществу. Участники отдаленных экспедиций не могут, не имеют права проходить мимо обнажений горных пород, не взяв хотя бы образца и не записав места его взятия (о том, что следовало бы делать в таких случаях, читатель найдет в книжке).

Наконец, в-четвертых, знания без пользы не бывает, и всякий специалист всегда желает соблазнить кого-либо своей специальностью.

Я далек, очень далек от мысли считать свою книжку безупречной, тем более, что она предназначена для лиц далеких и очень далеких от петрологии. Всякие замечания — лучше резкие и определенные, чем мягкие и непонятные, — встречу с благодарностью. Таких очень любезных и заранее благодаримых читателей я очень прошу в отношении каждого желательного прибавления указать непременно на возможное с их точки зрения сокращение: книжки, подобные предлагаемой, должны быть по возможности менее объемистыми, так как каждому достаточно дела по своей специальности.

Само собой разумеется, что я считаю объем сведений, заключающихся в этой книжке, вполне достаточным для всех студентов непетрологической специальности, получающих геологическое образование.

Для дальнейшего ознакомления с предметом достаточно, мне кажется, указать здесь на учебники Ф. Ю. Левиисон-Лессинга (Петрография, 3-е издание, 1933; [кроме 4 и 5 издания, книга вышла так же как 4-й том избранных трудов в издании АН СССР, 1955], В. И. Лучицкого (Петрография, 3-е издание, 1932), [А. Н. Заварицкого (Изверженные горные породы, 1955], А. Н. Заварицкого (Физико-химические основы петрографии, 1926), А. Н. Заварицкого (Введение в петрографию осадочных пород, 1933) и М. С. Швецова (Петрография осадочных пород, 1934), а также переводные учебники Г. В. Тирреля (Основы петрологии, 2-е издание, 1933), Розенбуша (классический учебник, готовится 1-е издание, вышел на русском языке в 1934 г.), У. Грубенмана и П. Ниггли (Метаморфизм горных пород, 1933) и Р. Марк — Г. Юнг (Физическая химия, 1933).

На случай, если читатель забудет какой-либо термин или последний был употреблен до объяснения его значения, в конце книжки имеется подробный предметный указатель.

Е. М. Янишевский содействовал принятию к напечатанию предлагаемой книжки, Владимир Соболев помог мне подобрать некоторые иллюстрации к ней. Обоим искренняя моя благодарность.

В. Лодочников

Август, 1933.

Ленинград, ЦНИГРИ

1—2. ПРЕДМЕТ ПЕТРОЛОГИИ, ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

1. Петрография (древнегреческое слово *petra* — скала, порода, *grapho* — писать, описывать) или лучше **петрология** (*logos* — слово, учение), иногда менее верно **литология** (*lithos* — камень) — есть отдел геологии, занимающийся изучением горных пород. Как показывает приведенное только что словообразование, петрография представляет собой дисциплину описательную, занимаясь изучением вещественного состава пород, хотя нередко и у нас в Советском Союзе и в Германии в понятие «петрография» вкладывается смысл, принадлежащий этимологически более правильному термину — «петрология», который обозначает науку о горных породах.

Наконец, название «литология» иногда неправильно отождествляют с предыдущими двумя терминами (французская школа), хотя этимологически слово «литология» должно обозначать учение о камнях как о таковых, т. е. больших или меньших массах пород, применяемых в жизни и технике (см. ниже, pp. 134—138).

2. Горные породы представляют собой те естественно-исторические, в рассматриваемом случае, следовательно, **геологические единицы**, которые образуют в своей совокупности твердую земную кору. Как и всякие единицы, горные породы представляют собой нечто более или менее обособленное, более или менее постоянное. Обособленность эта как геологическая, так и вещественная. С последней точки зрения горные породы суть природные минеральные агрегаты более или менее постоянного состава. Петрология изучает горные породы с точки зрения их залегания, состава, структуры и архитектуры, выясняя тем самым их происхождение и взаимоотношения между ними. Горные породы — части твердой земной оболочки, поэтому их лучше всего рассматривать как тела твердые. Это, во-первых, будет соответствовать общему представлению, связанному с понятием «горная порода» как с предметом твердым, а, во-вторых, будет отвечать и тому разделению земной оболочки, которое сложилось исторически. Так, например, природные тела жидкие (вода или нефть), пластические (асфальт или глина), рыхлые и сыпучие (почвы, песок или галечник) лучше

называть не породами, как это почти всегда делается, а **геологическими образованиями**¹.

К тому же эти образования служат предметом изучения не петрологов, а геологов совместно с химиками, либо минералогами, либо почвоведом. В частности, рыхлый или сыпучий песок, с одной стороны, и твердый песчаник, с другой, или пластичная глина и твердый глинистый сланец относятся друг к другу так же, как объекты изучения соответственно зоологов и палеонтологов. С другой стороны, случайные заполнения пустот, все время находящиеся в движении твердые ледяные массы, большинство рудных жил и прочие естественные, но *случайные*, в отношении своего очень переменного состава, минеральные ассоциации не удовлетворяют признаку постоянства состава, требуемому от горной породы, и поэтому также представляют предмет изучения не петрологии, а других геологических дисциплин. Здесь в разделение объектов изучения опять-таки входит элемент условности, так как некоторые рудные жилы представляют собой настоящие горные породы, но изучаются наукой о полезных ископаемых.

Наконец, следует отметить, что в понятие «горная порода» не входит признак существенного ее участия в строении земной коры, хотя этот признак некоторыми учеными все же выставляется. Дело в том, что вещество, остывшее из огненно-жидкого состояния и заполняющее небольшую трещину в земной коре, если оно не соответствует по своему составу ни одной из известных изверженных горных пород, получает, особенно от научных авторитетов, всегда особый термин и, следовательно, тем самым считается горной породой. Отсюда и изобилие различных названий горных пород в петрологии: для одних только изверженных пород существует более шестисот названий, увеличивающихся в количестве с каждым годом.

[Данный признак не может считаться определяющим, так как действительно в отдельных случаях то или иное тело, сложенное типичной горной породой, может оказаться меньше рудной кварцевой жилы, которую нельзя рассматривать как горную породу. Однако в большинстве случаев и в среднем для горных пород характерны тела гораздо больших размеров, нежели для образований, не попадающих в эту категорию, да и сама земная кора состоит в основном именно из горных пород. С этой точки зрения признак существенного участия в строении земной коры остается характерным для горной породы.]

3. СВЯЗЬ ПЕТРОЛОГИИ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ

3. Из предыдущего видно, как тесно иногда петрология соприкасается с другими дисциплинами. Так как горные породы суть прежде всего тела *геологические*, для занятия петрологией необходимо в первую очередь знание геологии физической и историче-

¹ Иногда их называют **рыхлыми, жидкими и т. п. горными породами**.

ской. При изучении состава горных пород необходимы знания *химические*, а так как этот состав для петрографа прежде всего минералогический, то знание *минералогии* и *кристаллографии* для него совершенно обязательно. Как естественные минеральные агрегаты, твердые, по нашему определению, минеральные ассоциации, *породы являются сообществами минералов*, причем сообществами — для огромного большинства пород — закономерными. Поэтому изучение таких ассоциаций физико-химических единиц, минералов, невозможно без знания соответствующих отделов *физической химии*.

Наконец, обособление естественно-исторической массы в геологическую единицу, превращение ее в горную породу и процессы разрушения горных пород, с последующим преобразованием рыхлых продуктов разрушения в новые горные породы, не могут быть поняты без знакомства петролога с *физикой* и *механикой*.

4—8. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ РАЗДЕЛЕНИЕ

4. В частности, петрология очень много заимствует из астрономии, например вопрос о происхождении земли. Как известно, все гипотезы сходятся на том, что земля в начальные фазы своей собственной истории была в огненно-жидком состоянии или, во всяком случае, сложилась из тел, бывших в этом состоянии. При отвердевании этих масс, очевидно, получились первозданные, первичные горные породы. А *приоги* делается ясным, что породы бывают **изверженными**, **эруптивными** (латинское *egitpere* — внедряться) или **магматическими** (древнегреческое *магма* — квашня, тесто); англо-саксы называют их также **огнезданными** (*igneous*), т. е. происшедшими непосредственно из огненно-жидкой, аналогичной лаве, массы, называемой магмой. Появление таких геологических образований на земной поверхности мы наблюдаем и в настоящее время около действующих вулканов; остывая, эти массы, т. е. лавы, превращаются в изверженные — в данном случае **эффузивные** (см. ниже, п. 12) — горные породы.

[Вместе с тем теперь уже установлено, что магма не только не слагает всей внутренней части земного шара, но даже не образует непрерывного подкорового слоя. Имеются лишь отдельные магматические очаги, образующиеся, развивающиеся и отмирающие в тесной связи с тектоническими процессами. Большинство исследователей сейчас считает, что энергия, необходимая для переплавления отдельных участков земной коры, образуется за счет распада радиоактивных элементов. Таким образом, существование этих очагов не связано непосредственно с гипотезой об огненно-жидком первоначальном состоянии земли и вполне может быть согласовано с распространенной сейчас теорией Шмидта о происхождении земли из твердых частиц. В задачу петрографии, однако, не входит обсуждение соответствующих космогенических гипотез].

5. Также, повидимому, а priori понятно, что породы могут образоваться путем разрушения тем или иным способом изверженных пород, получения в результате такого разрушения обломочного материала, сноса его каким-либо способом в одно место и, наконец, цементирования этого осадочного геологического образования в твердую **осадочную** уже **породу**, состоящую, следовательно, из ранее существовавших в твердом же виде обломков. Поэтому осадочные породы и называются иногда **вторичными**. Неизбежность появления последних в термодинамической обстановке земной поверхности становится понятной из того, что воздвигаемые человеческими руками твердые каменные сооружения не выдерживают даже нескольких тысячелетий, разрушаясь и сравниваясь постепенно с поверхностью земли. Следовательно, за миллионы лет разрушается любая порода, находящаяся на земной поверхности.

Полудикие калифорнийские индейцы создали учение о развитии земли, которое можно поместить в любой учебник геологии и почвоведения. Учение это гласит следующее: «Вначале мир был скалой. Каждый год шли дожди и падали на скалу и немного смывали с нее; это образовало землю. Постепенно стали произрастать растения на земле, и их листья опадали и образовывали еще больше земли. Тогда стали расти сосны, и их иглы и шишки опадали каждый год и с другими листьями и корой образовывали больше земли и покрывали больше скалы. Если ты внимательно посмотришь на почву в лесу, то увидишь, что верхи ее состоят из листьев и коры и игл сосны и шишек ее, что немного ниже все это перемешано, а еще ниже постепенно сгнивает и обращается в землю. Так рос мир — и так растет он и теперь».

6. Изверженные и осадочные породы в подавляющем числе случаев резко отличаются друг от друга во всех отношениях, а, следовательно, и в отношении структуры (см. стр. 47) состава и способов залегания. Но между этими, столь генетически различными породами, существуют все же переходные — это вулканические туфы. **Вулканические туфы** представляют собой породы, образовавшиеся в результате цементирования рыхлых выбросов вулканов, т. е. вулканических пеплов (распыленное стекло лавы), вулканических песков, лапилли, бомб и пр. Иногда такие туфы обнаруживают прекрасную слоистость, свойственную осадочным породам. В отношении способа образования — цементированный обломочный материал — структуры и залегания туфы вполне отвечают осадочным породам, и если последние представляют собой породы **кластические** (древнегреческое *klao* — ломать, колоть), то вулканические туфы суть породы **пирокластические** (древнегреческое *pyr* — огонь). В отношении же своего состава туфы являются породами первичными, изверженными, точно или приблизительно отвечающими составу, и химическому и минералогическому, тех эффузивных пород, которые они сопровождают.

7. Наконец, если породы подвергаются изменениям на земной

поверхности, т. е. в условиях обыкновенной температуры и атмосферного давления, то, естественно, еще большие изменения должны происходить при повышении обоих этих термодинамических факторов с углублением внутрь земной оболочки. В частности, если порода или вообще геологическое образование погружаются на глубину до 20—25 км вследствие тех или других геологических процессов, то температура повышается на величину около 600—750° (геотермический градиент — повышение температуры на 1° С на каждые 30 м углубления внутрь земли), а давление достигает величины около 5000—6200 кг на квадратный сантиметр¹. Если даже иметь в виду, что область устойчивости минералов, образующих породы, очень широка, то легко представить себе, что в указанных условиях минералы первоначальной породы, все или частично, могут оказаться неустойчивыми в новом термодинамическом поле и должны будут превратиться в другие, хотя общий валовой состав породы окажется при этом почти неизменным.

8. С другой стороны, магматические породы, как увидим ниже, иногда, не достигая земной поверхности, застревают на глубине, остывая внутри земли, — так называемые интрузивные породы. При этом, естественно, соседней породе передаются колоссальные количества тепла, а также газы и пары, увеличивающие интенсивность реакций, благодаря чему эта соседняя порода может частично или совершенно преобразоваться, не приходя, как показывают наблюдения, в состояние плавления. Получающиеся в результате воздействия химических агентов, повышенной температуры и давления совершенно видоизмененные в *твердом* состоянии полнокристаллические породы, видоизмененные в отношении первоначального минералогического состава или структуры или того и другого вместе, называются **метаморфическими** (древнегреческое *meta* — после, последующее состояние, *morfe* — вид, форма) а самый процесс, приводящий к изменению — **метаморфизмом** (Ляйэль — Lyell, 1833).

9—10. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОД В ЛИТОСФЕРЕ И СОСТАВ ПОСЛЕДНЕЙ

9. Таким образом, первичные породы — это породы изверженные, магматические. Остальные две группы — осадочные и метаморфические — представляют собой породы производные, причем

¹ Этот пример скорее имеет чисто теоретический характер. Едва ли мы знаем на поверхности земли достаточное количество таких мест, которые были когда-то погребены на указываемую глубину, чтобы можно было выделить отдел метаморфических пород такого происхождения (см. ниже п. 121). [Вместе с тем следует отметить, что геотермический градиент далеко непостоянен и во многих областях, где не было молодых вулканических явлений, повышение температуры на 1° происходит на каждые 50 или даже более метров, т. е. на глубинах 20—25 км могут иметь место и значительно более низкие температуры, порядка 400 и даже менее градусов. Кроме того, для широкого развития метаморфических процессов, повидимому, обязательным условием является поступление водных растворов, связанных с магматическими явлениями].

метаморфические могут, очевидно, получаться как за счет изверженных, так и осадочных пород. В верхних частях **литосферы**, т. е. в твердой земной оболочке, преобладают породы осадочные (в том числе и рыхлые геологические образования), но чем дальше вглубь земли, тем, естественно, все больше начинают увеличиваться в количестве метаморфические и изверженные породы, получающие на достаточной глубине исключительное распространение. Исходя из того, что известны состав высочайших гор и отчасти состав коры под **гидросферой** (водной оболочкой земли), можно принять, что экстраполяция на 16 км, соответствующих разности между высочайшими точками земли и наибольшими океаническими глубинами, вполне допустима. У берегов Чили, например, наблюдается разность высот (вулкан Ллуллайльякко — дно океана) в 14 235 км. В таком случае твердая земная кора на толщину этих 16 км будет состоять, по Кларку и Уошингтону (F. W. Clarke and H. S. Washington), на 95% из пород изверженных и только на 5% из пород осадочных (в том числе и рыхлых образований). Зная по многочисленным произведенным до сего времени анализам средний состав тех и других пород, можно получить данные, помещенные в нижеприводимой таблице (стр. 13), в которой:

а) средний состав *изверженных* пород (5159 анализов) земной коры на толщину 16 км, по Кларку и Уошингтону;

б) состав *всех пород* литосферы в окислах на ту же толщину, по тем же авторам;

в) то же, что а, но не в окислах, а в элементах;

г) то же, что б, но не в окислах, а в элементах;

д) состав земной оболочки — атмосфера (0,03% по весу), гидросфера (7%) и литосфера (93%) — 16 км толщиной, по Кларку и Уошингтону;

е) то же, что д, по В. И. Вернадскому.

10. В приведенной таблице обращает на себя внимание следующее. Главных окислов, отмеченных слева цифрами в порядке их важности в анализах изверженных горных пород, всего тринадцать. В сумме эти *окислы составляют 99,6% по весу литосферы*. На все остальные окислы, играющие весьма важную роль в нашей жизни, приходится 0,4%.

Состав изверженных горных пород почти не отличается от состава всей литосферы (ср. столбцы а и б).

Преобладающими *элементами* литосферы являются всего девять, причем распространенность их весьма неодинакова: больше двух третей ее — и это совершенно несомненно — составляют кислород и кремний, около 13% приходится в сумме на алюминий, преобладающий в этой сумме, и железо; количество кальция, натрия, калия и магния находится в пределах 3,5—2,0%, и, наконец, последний из девяти элементов, водород, составляет всего 1% от веса всей земной оболочки.

	а		б		в	г	д	е
1	SiO ₂	59,12	59,07	Кислород	46,59	46,71	49,52	49,5
2	Al ₂ O ₃	15,34	15,22	Кремний	27,72	27,69	25,75	25,7
3	Fe ₂ O ₃	3,08	3,10	Алюминий	8,13	8,07	7,51	7,5
4	FeO	3,80	3,71	Железо	5,01	5,05	4,70	4,7
5	MgO	3,49	3,45	Кальций	3,63	3,65	3,39	3,4
6	CaO	5,08	5,10	Натрий	2,85	2,75	2,64	2,6
7	Na ₂ O	3,84	3,71	Калий	2,60	2,58	2,40	2,4
8	K ₂ O	3,13	3,11	Магний	2,09	2,08	1,94	2,0
9	H ₂ O	1,15	1,30	Водород	0,13	0,14	0,88	1,0
10	TiO ₂	1,05	1,03	Хлор	0,048	0,045	0,188	0,2
11	P ₂ O ₅	0,30	0,30	Углерод	0,032	0,094	0,087	0,4
12	MnO	0,12	0,11	Цирконий	0,026	0,025	0,023	—
13	CO ₂	0,10	0,35	Титан	0,630	0,620	0,580	0,5
14	ZrO ₂	0,04	0,04	Фосфор	0,130	0,130	0,120	0,1
15	Cl	0,05	0,05	Марганец	0,100	0,090	0,080	0,1
16	F	0,03	0,03	Сера	0,052	0,052	0,048	0,15
17	S	0,05	0,06	Барий	0,050	0,050	0,047	
18	(Ce, Y) ₂ O ₃	0,02	0,02	Хром	0,037	0,035	0,033	
19	Cr ₂ O ₃	0,06	0,05	Азот	—	—	0,030	
20	V ₂ O ₃	0,03	0,03	Фтор	0,030	0,029	0,017	
21	NiO	0,03	0,03	Никель	0,020	0,019	0,018	
22	BaO	0,05	0,05	Стронций	0,019	0,018	0,017	
23	SrO	0,02	0,02	Ванадий	0,017	0,016	0,016	
24	Li ₂ O	0,01	0,01	Церий. Иттрий	0,015	0,014	0,014	
25	Cu	0,01	0,01	Медь	0,010	0,010	0,010	
26	C	0,00	0,04	Остальные	0,034	0,033	0,033	
Сумма	100,0		100,0		100,0	100,0	100,0	Между 1/10 и 1/100%

В. И. Вернадский, воспользовавшийся данными американских ученых, дает почти в пять раз больше углерода (0,4%), чем эти последние. Его цифру — то же следует сказать и относительно серы — надо считать более правильной, так как он учел и состав **биосферы**, тонкой, кишащей жизнью поверхностной оболочки земли. Замечательно, что вся эта жизнь построена всего на 0,4% углерода.

Обращает также на себя внимание то обстоятельство, что огромное большинство металлических элементов, на которых основана вся наша техника, составляет каждый в отдельности менее одной сотой процента: их в таблице нет как раз по этой причине.

Понятным становится также, что бронзовый век (медь около 0,1% и олово) должен был смениться железным (около 5%) и

сейчас все шире входит в употребление алюминий (около 8%), следующий за железом элемент в порядке их распространенности.

Наконец, что касается соответствия вышеприведенных соотношений пород действительному их соотношению (далее мы будем иметь в виду исключительно объект изучения петролога — литосферу), то едва ли ошибка, получающаяся от некоторых произвольных допущений, превышает 10% определяемой величины. Сравнение цифр столбцов *a* и *б* определенно указывает, что даже удвоив количество осадочных пород по сравнению с принятым их соотношением с изверженными, мы не получили бы сколько-нибудь существенных различий; это совершенно понятно: все осадочные породы получились из материала магматических пород, а последние нисколько не изменились в своем составе, начиная с самой ранней известной нам эпохи истории развития земли (архейской). Во всяком случае, можно утверждать с совершенной определенностью, что средний состав литосферы находится в пределах составов двух наиболее распространенных пород (см. ниже п. 90) — гранита и базальта.

Утверждение некоторых ученых, что средний состав литосферы должен быть более близок к базальту, чем вышеприведенный (столбец *б*), основано на слишком гипотетических предположениях (во всяком случае никем не доказанных) о сплошь базальтовом составе подокеанических глубин. Скорее, наоборот, состав литосферы должен уклоняться в сторону гранитной магмы, так как в число 5159 анализированных пород входит гораздо больше пород, более близких по составу к базальтам и имеющих совершенно ничтожное распространение, по сравнению с гранитными и близкими к последним породами, покрывающими часто площади в сотни и тысячи квадратных километров, следовательно, тем самым более обычными и не возбуждающими интереса петрологов. Между тем, числа вышеприведенных столбцов получены простым суммированием окислов анализов горных пород и делением этой суммы на число слагаемых, без всякого учета распространенности различных пород.

[Соответствующие подсчеты с учетом распространения горных пород для европейской части СССР сделаны С. П. Соловьевым, причем его цифры действительно указывают на более высокое содержание кремнекислоты: SiO_2 — 63,65%; TiO_2 — 0,54%; Al_2O_3 — 14,47%; Fe_2O_3 — 2,18%; FeO — 3,19%; MnO — 0,07%; MgO — 3,70%; CaO 4,28%; Na_2O — 3,51%; K_2O — 2,84%; H_2O — 1,47%; P_2O_5 — 0,10%. Однако, если эти цифры и можно как-то обобщить для всего земного шара (конечно, в первом приближении), то они будут относиться лишь к верхней, непосредственно доступной нашему наблюдению части литосферы. Что касается гипотезы о более основном составе нижележащих слоев, то она, хотя и не может считаться еще доказанной, имеет под собой достаточно серьезные основания, подтвержденные геофизическими наблюдениями.]