



102

Акад. В. И. ВЕРНАДСКИЙ

ИСТОРИЯ  
МИНЕРАЛОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Том первый

Выпуск I

НАУЧНОЕ ХИМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ В. С. Н. Х.  
ЛЕНИНГРАД

1925

## ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

- Абегт, Р. и Саккур, О. Примеры численных задач по физической химии с решениями. Пер. М. Кучерова. 1924.
- Аррениус, С. Физико-химические закономерности химических процессов в космосе. Пер. Г. П. Горбунова, под ред. М. А. Блох. 1924.
- Аррениус, С. Химия и современная жизнь. Перевод Г. П. Горбунова под ред. М. А. Блох. 1924.
- Ард, Е. Основные понятия высшей математики для химиков. Перевод В. В. Нечаева. 1924.
- Андреев, И. И. Азотистые соединения. 1922.
- Астов, Ф. В. Изотопы. Пер. В. И. Баранова. 1924.
- Баймаков, Ю. В. Рафинирование меди. 1919.
- Банг, Ивар. Микрометоды для исследования крови. Перевод К. А. Николаева под ред. проф. А. Н. Баха. 1923.
- Бызов, В. В. Количественный анализ. 1923.
- Его же. Качественный анализ. 1923.
- Его же. Резиновая промышленность. Справочн. химич. пром. В. III. 1922.
- Блох, М. А. Развитие химической промышленности, ч. I, 1920. Изд. разошлось.
- Его же. Творчество в науке и технике. 1920.
- Его же. Жизнь и творчество Вант-Гоффа. 1923.
- Вальден, П. И., акад. Наука и жизнь, ч. I, 2-ое изд. 1922; ч. II, 1919; ч. III, 1921.
- Его же. Теория растворов в их исторической последовательности. Пер. Н. П. Стрехова под ред. М. А. Блох. 1921.
- Вальгис, В. Н. Светильный газ. 1920.
- Василевские, Л. А. и Л. М. Пищевые суррогаты. 1923.
- Вернадский, В. И., акад. Очерки и речи, ч. I и II. 1922.
- Его же. Живое вещество в химии моря. 1923.
- Вильферт и Муксель. Прессованные дрожжи. 1924.
- Вольф, Г. Бальзамы, смолы, искусственные смолы, олифы и лаки. 1923.
- Воронов, А. А. Динамо-электрические машины постоянного тока. 1924.
- Герц, В. Очерк истории развития основных воззрений химии. Пер. Н. Бах под ред. и с дополнениями М. А. Блох. 1924.
- Гессе, Г. К. Переменные токи. 1924.
- Деринг, Т. Обзор работ по аналитической химии. Пер. Е. Д. Воловой под ред. и с дополн. М. А. Блох. 1922.
- Добрянский, А. Ф. Пирогенетическое разложение нефти. 1922.
- Доливо-Добровольский, В. Н. Бумажная промышленность. Справочник химич. пром. Вып. I. 1923.
- Донат, Э. и Лиссер, А. Уголь и нефть. Пер. А. Ф. Добрянского. 1923.
- Дюкло, Ж. Коллоиды. Пер. А. Михалевица под ред. и с предисловием В. Я. Курбатова. 1924.
- Залькинд, Ю. С. Химия циклических соединений. 1922.
- Его же. Химия органических соединений с открытой цепью. 1924.
- Иванов, А. П. Электрические лампы. 1923.
- Иванов, В. Н. Серная кислота. 1921.
- Известия Ин-та Хим.-Чистых Реактивов. 1923.
- Ипатьев, В. Н., акад. Органическая химия. 2-е изд. 1923.
- Его же. Производство аммиака. 1920.
- Его же. Разложение пировафта. 1920.
- Его же. Туруханский графит. 1921.
- Его же. Наука и промышленность на Западе и в России. 1923.
- Его же. Нефть. 1922.
- Его же. Химическая промышленность—база химической обороны. 1924.
- Ипатьев, В. Н., акад., и Фокин, Л. Ф. Химический Комитет при Г. А. У. 1921.
- Ипатьев, В. Н., акад., и Блох, М. А. Каталитические явления в природе. 1922.
- Карманный спутник электротехника. Пер. М. В. Зива. 1924.
- Карпучов, М. М. Металлургия стали. Вып. I. 1924.
- Катехизис смазки. Пер. И. И. Воронкова. 1924.
- К десятилетию открытия Лауэ. Перев. статей из „Naturwissenschaften“ Э. Бошштедт под ред. акад. А. Е. Ферсмана. 1923.
- Климов, В. К. Сырейно-красильная промышленность. 1921.
- Курбатов, В. Я. Введение в химию. 1919. Издание разошлось.
- Его же. Начала химии. 1923.
- Его же. Что такое химическая война и химическая оборона. 1924.

Р. С. Ф. С. Р.  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ В. С. Н. Х.

---

549 + 550.4

В 35

# ИСТОРИЯ МИНЕРАЛОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Акад. В. И. ВЕРНАДСКОГО

Том первый

Выпуск первый



НАУЧНОЕ ХИМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ПЕТРОГРАД  
1923



223



## ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Введение . . . . .	3
I. Задачи и область ведения минералогии . . . . .	3
II. Литература минералогии.	
1) Литература по истории минералогии . . . . .	14
2) Литература по библиографии минералогии . . . . .	17
3) Литература журналов . . . . .	18
4) Общие обзоры и большие руководства по минералогии . . . . .	20
5) Определители минералов . . . . .	23
III. Земная кора.	
1) Оболочка земной коры . . . . .	41
2) Химический состав земной коры и ее оболочек . . . . .	62
IV. Несколько замечаний о характере природных химических реакций.	
V. Формы нахождения минералов в природе.	78
1) Определение минерала . . . . .	81
2) Горные породы . . . . .	97
3) Месторождения минералов . . . . .	105
4) Минеральные тела. Группа I и II . . . . .	111
5) Третья группа минеральных тел. Учение о жилах . . . . .	135
6) Четвертая группа минеральных тел . . . . .	138
7) Пятая группа минеральных тел . . . . .	144
8) Шестая группа минеральных тел . . . . .	146
9) Седьмая группа минеральных тел . . . . .	148
10) Восьмая группа минеральных тел . . . . .	150
11) Девятая группа минеральных тел . . . . .	152
12) Десятая группа минеральных тел . . . . .	153
13) Псевдоморфозы . . . . .	159
14) Парагенезис . . . . .	159
VI. Химический состав и физико-химические свойства минералов .	166
1) Общие замечания . . . . .	181
2) Изоморфные смеси . . . . .	192
3) Изоморфные ряды элементов . . . . .	197
4) Диссоциационные системы . . . . .	200
5) Коллоидальные системы . . . . .	202
6) Кристаллические сростания . . . . .	207
7) Пойкилитическая структура . . . . .	207

## ОТ АВТОРА.

«История минералов в земной коре» не была напечатана в полном виде — но главные части книги были изданы несколько раз с 1898 года. В 1910 — 1912 вышло последнее (третье) переработанное издание стараниями моего слушателя А. М. Казакова. Оно не было закончено из-за событий в Московском Университете в 1911 году, прервавших правильный ход его жизни.

С 1911 года минералогия находится в периоде давно небывалого в ее многовековой истории развития. Вследствие этого, явилась необходимость большой переработки.

К сожалению, трудные условия жизни не позволили сделать это так, как я бы того желал.

В издаваемом виде книга не охватывает всех отделов минералогии, не касается кристаллографии. Я выпускаю ее, видя все ее недостатки — но думаю, что она все же может быть полезна, так как охватывает область минералогии с другой точки зрения, чем это обычно делается.

Надеюсь, что на этот раз ее удастся довести до конца.

В конце труда я дам кое-какие необходимые дополнения и новейшую литературу.

Париж. Февраль 1924.

## ВВЕДЕНИЕ.

### I. Задачи и область ведения минералогии.

**1.** Минералогия—одна из древнейших отраслей естествознания. До нас дошел от IV века до Р. X.—правда в неполном виде—трактат о камнях Теофраста (371—286 до Р. X.), ученика Аристотеля (384—322 до Р. X.). В этих дошедших до нас обрывках, имеющих более чем 2000-летнюю давность, мы ясно чувствуем теснейшую генетическую связь с современной минералогией. Несомненно многие вопросы, затронутые в этой книге, и сейчас составляют объект минералогии. И вместе с тем из нее ясно, что Теофраст не был первым творцом новой науки — он продолжал старую традицию.

И после него внимание человека неуклонно обращалось к этой отрасли естествознания. В различные исторические эпохи менялось понимание ее вопросов—человек подходил к ним с резко различных точек зрения, но область знания оставалась одной и той же. В средние века в, так называемых, ляпидариях, составлявших главную минералогическую литературу того времени, видную роль играли фантастические магические свойства камней, в XIX веке, одно время, изучение кристаллов скрыло было из внимания исследователей основные задачи минералогии.

Но—помимо этих чуждых минералогии наслоений—основное содержание науки оставалось. Неуклонно все эти века происходила работа нередко чрезвычайно медленного собирания научных фактов, которые в конце концов являются неизбежной основой всякого точного знания. Они, а не захватывающие мысль человека теории, в конце концов строят науку. Точно научно установленный факт по существу всегда дает больше, чем основанная на нем, его объясняющая, теория. Он верен и для будущей теории и в исторической смене теорий он остается

неизменным. В истории минералогии мы на каждом шагу видим, как менялось понимание научных фактов в смене времени; и как в каждое время они давали человеку все новые и новые представления—открывались их новые, раньше не видные значения.

Многие из наших самых современных теорий опираются, в своей основе, на старинные наблюдения. В далекую древность уходит наблюдение над электризацией янтаря (по гречески—*ἤλεκτρον*) при трении, много веков насчитывает знание магнитных свойств магнетита (магнитного железняка), более 250 лет тому назад датчанином Э. Бартолином (E. Bartholinus 1625—1698) открыты световые свойства двупреломляющего шпата (кальцита). На изучении этих свойств создались не только целые части минералогии, из них вытекли новые отрасли знания—учения об электричестве, магнетизме, поляризованном свете. И сейчас на наших глазах в XX веке тщательное изучение свойств урановой смоляной руды (уранинита) не только привело к созданию новой науки радиологии, но и позволило понять множество старинных научных наблюдений, связанных со свечением минералов, сделанных в XVII—XIX веках.

Эти и многие другие точно научно установленные факты незыблемы и лишь точнее и полнее выявляются и выясняются при росте научного знания.

На них строятся научные теории. Теории имеют преходящее значение, хотя нередко являются живыми многие столетия и в глазах современников благодаря своей стройной системе кажутся главным содержанием научного знания.

Без научных теорий мы не в состоянии разбираться в научных фактах, теряемся и запутываемся в их бесконечном, неуклонно растущем—с ходом времени—разнообразии и количестве.

**2.** Факты минералогии получают двумя путями, одновременно существовавшими всегда, поскольку мы можем проследить историю минералогии. Они существовали и 2000 лет тому назад во времена Феофраста, существуют и теперь.

С одной стороны они исходили из техники, накапливались вековым опытом рудокопа и рудоискателя, техника и металлурга, земледельца, художника и гончара. Они проявлялись вне воли и вне искания человека, их значение, как фактов, строящих минералогию, не сознавалось. Эти знания, меняясь, передавались устно от поколения к поколению. Эти безымянные и бессознательные наблюдения всегда составляли и ныне составляют живой источник нашего научного знания.

Они тщательно собираются и сохраняются научными исследователями и долгие века они составляли главную часть фактического содержания минералогии.

Специальная научная работа,—работа отдельной человеческой личности, сознательно направляемая в научно поставленном опыте или наблюдении,—долгое время стояла на втором месте. Она выдвинулась—заняла господствующее положение в минералогии—лишь за последние столетия, после того, как были научно сведены в заметной степени эмпирические знания практиков.

Только после этого в науку вошло огромное количество научных фактов, полученных вне областей прикладного знания.

**3.** Вековой опыт немецких, итальянских и чешских рудокопов и рудоискателей был сведен в первой половине XVI века независимо друг от друга итальянцем Бирингуччио (V. Biringuccio умер в середине XVI века) и немцем-саксонцем Г. Агриколой (G. Bauer, иначе G. Agricola 1490—1555).

Их труды представляют огромный шаг вперед по сравнению с работою Феофраста, и особенно сочинения Агриколы в течение нескольких поколений оказывали влияние на научную работу в минералогии.

Со второй половины XVII столетия, в течение всего XVIII века в другой стране, оказывавшей в эти годы большое культурное влияние в человечестве, в Швеции, была вновь сделана более обширная и глубокая научная сводка известного в этой отрасли знания. Здесь работы Перне (U. Hjärne 1641—1724), Бромелли (M. v. Bromell 1679—1731), Сведенборга (E. Swedenborg 1688—1772), Валлериуса (J. Wallerius 1709—1785), Бергмана (T. Bergman 1733—1784) и других в конце-концов привели к эмпирическим обобщениям Кронштедта (A. Cronstedt 1702—1765), придавшего минералогии ее современный облик и поставившего ей современные, неизменные с того времени, задачи. Кронштедт ставил для минералогии задачи как химии земли, еще задолго до создания новой химии и крушения старой химии флогистона, сторонником которой он был.

Шведское влияние было всюду сильно и ощущалось в течение долгих десятилетий.

В Саксонии, родине Агриколы, под влиянием шведов в начале XVIII века началась непрерывающаяся до сих пор научная работа по минералогии в Фрейберге, в лице Генкеля (J. Henkel 1679—1744). У Генкеля учился и первый русский минералог М. В. Ломоносов (1711—1765), до конца своей жизни самостоятельно работавший в этой области знания. В Саксонии научная минералогическая работа, захватившая под ряд несколько научных поколений, в стране с многовековым рудным делом и вековой горной традицией, привела в конце XVIII века к созданию Фрейбергской минералогической школы, которая в лице Вернера (A. Werner 1750—1817) в конце XVIII столетия и Брейтгаупта (J. Breithaupt 1791—1869) в первой половине XIX выдвинула крупных

ученых, оказавших глубокое влияние на научное мышление последующего и нашего времени. И Вернер, и Брейтгаупт выдвинули на первое место в минералогии *наблюдение*—изучение морфологии природных тел и изучение условий их нахождения в природе.

Одновременно с Вернером, во Франции, в Париже, аббат Гаюи (R. J. Haüy 1743—1822) из морфологических признаков выдвинул те, которые поддавались геометрической и числовой обработке—кристаллографические и в то же время, следуя в этом отношении Кронштедту, утвердил в научном сознании значение химии и химических свойств естественных природных тел—минералов.

В первой четверти XIX века этот последний признак в работах великого шведского химика Берцелиуса (J. Berzelius 1779—1848) занял в научном сознании, в общем, то место, которое мы и ныне отводим ему в минералогии. Берцелиус рассматривал минералогию, как *химию земной коры*. Ее задачей были задачи химии, изучаемые в области естественных тел, создаваемых в земной лаборатории.

4. Но эти идеи Берцелиуса долгое время не имели влияния. В течение многих десятилетий вопросы химического состава и кристаллической формы минералов отвлекли внимание минералогов от изучения того, что является основой химии, от изучения химических процессов в земной коре.

Это начало быстро меняться с конца XIX столетия. Минералогия стала принимать новый облик, и можно сказать, что процесс ее изменения заканчивается только теперь, на наших глазах.

В конце-концов выявилось ее содержание и ее задачи, близкие к тому, что выставлял Берцелиус, однако с его определением не вполне согласные.

Изменение содержания минералогии, нашего ее понимания, произошло под влиянием разнообразных причин—прежде всего под влиянием развития близких к ней наук: геологии, физики, химии, особенно физической химии. Эти науки в XIX веке подверглись гораздо более сильному изменению, чем минералогия, а частью даже были вновь созданы, как физическая химия.

Но еще большее изменение произошло в ней под влиянием внутреннего ее развития—выделения из минералогии особой науки кристаллографии, физики анизотропного состояния материи.

Исторически сложилось так, что кристаллография и минералогия были тесно между собою связаны в течение XVII—XIX столетий. Законы твердых тел были сперва изучены на природных кристаллах, на минералах. Кристаллографией занимались главным образом минералоги, и в университетском преподавании обе эти науки были поручаемы

одному и тому же преподавателю. Такое состояние сохраняется до сих пор, и очень медленно идет разделение этих отраслей знания.

К концу прошлого века выяснился окончательно резко отличный характер кристаллографии от минералогии. Кристаллография стала относиться к физике, тогда как минералогия принадлежит к циклу наук о земле—наук геологических.

Необходимость одновременной работы в двух столь разнообразных отраслях знания, объединенных в университетском преподавании в одном лице, отразилась на более медленном развитии одной из них—минералогии. Большинство университетских преподавателей минералогии были больше кристаллографами, чем минералогами.

Когда отличный от минералогии характер кристаллографии был выяснен и вошел в сознание научных работников (конец XIX—начало XX века), в науке резко стал вопрос о задачах и содержании той части минералогии, которая осталась за выделением из нее кристаллографии.

5. Идеи Берцелиуса вновь обратили на себя внимание, особенно в связи с успехами геологии. Но в это время, в XX веке, создание двух новых отраслей знания, развивавшихся в тесной связи с минералогией, сильно отразилось на ее понимании.

Эти две новые отрасли знания были геохимия и радиология. Геохимия имеет задачей изучение истории химических элементов в земной коре. Радиология занимается изучением явлений радиоактивности, т. е. явлений, связанных с распадом химических элементов.

Благодаря развитию радиологии и новым достижениям физики, совершенно изменились наши представления о химических элементах. Химические элементы оказались тождественными с атомами, количество различных родов или разновидностей которых отвечает количеству различных химических элементов.

Создание в последние 10 лет нового, стройного учения об атомах изменяет не только наше понятие о химическом элементе, но и все наши представления о химии и физике. Создаются новые отделы физики, атомная физика, отличная от старой физики, физики молекулярной—и новая химия—атомная химия, отличная от ранее известной молекулярной химии.

Радиология—в своей физической и химической частях соответственно относится к атомной физике и атомной химии. К ним принадлежит и ряд других областей физики и химии, быстро на наших глазах принимающих облик новых научных дисциплин.

6. Эти быстро идущие, глубокие изменения тех двух дисциплин, которые всегда теснейшим образом были связаны с минералогией—физики и химии—позволяют нам сейчас определить область ведения и задачи

минералогии гораздо более точно, чем мы это могли делать несколько лет тому назад.

Из двух химических дисциплин, связанных с земной корой — геохимия представляет *атомную химию земной коры*, а минералогия — *молекулярную химию земной коры*.

Вместе взятые, они образуют ту *химию земной коры*, создание которой Берцелиус считал сто лет тому назад задачей минералогии.

Но ход научного развития нашего времени сейчас позволяет идти дальше. Развитие геологии, физики и химии дает нам возможность проникнуть за пределы земной коры и говорить о химии всей земли, о *химии земли, как планеты*.

И в этой планетной химии земли геохимия будет рассматривать явления, связанные с атомами, а минералогия — явления, связанные с соединениями атомов, молекулами.

Однако, до сих пор главный материал, подлежащий нашему изучению, связан с верхней частью нашей планеты, с земной корой; современная минералогия еще далека от того, чтобы считаться химией земли. Фактически она есть химия земной коры в области химических процессов между молекулами. Но ясно, что это есть временное, переходное ее состояние, и я везде буду указывать на те новые возможности выхода за пределы земной коры, которые сейчас намечаются <sup>1)</sup>.

Являясь таким образом химией, изучаемой в области процессов земли, как планеты, минералогия (и геохимия) очевидно в дальнейшем будущем должны так или иначе связываться с изучением химии других планет. Сейчас здесь кроме мало удачных попыток еще нет ничего. Но эта связь ясно вырисовывается перед нами, и в своей работе мы не должны ее забывать, так как она с одной стороны позволяет нам правильно оценивать значение минералогических фактов и обобщений, а с другой, только видя отдаленную цель, к ней стремясь, мы можем в будущем к ней подойти.

Больше того, единство материального субстрата Космоса, так ярко установленное еще в XVII веке Гюйгенсом (С. Huyghens. 1629—1695) и точно доказанное в XIX Гуггинсом (W. Huggins 1824—1910), связанное с наблюдаемой нами в картине неба эволюцией материи и построенных из нее небесных светил, позволяет уже теперь считаться с этими явлениями при изучении истории отдельных минералов, особенно газов. Минералогия и геохимия являются с этой точки зрения частями *небесной химии*, на наших глазах растущей части *астрофизики*.

Являющееся сейчас уделом научной работы минералога исследование метеоритов позволит, вероятно, в скором времени, когда будет

<sup>1)</sup> См., напр., ниже гелий, азот, водород, железо, никкель, силикаты и т. д.

выяснен генезис метеоритов и космической пыли, еще теснее связать минералогию и геохимию с астрофизикой.

7. В настоящем своем состоянии минералогия является частью химии земной коры.

Очевидно все задачи и вопросы химии, поскольку они проявляются в земной коре и ее явлениях, подлежат ее изучению.

Между общей химией, изучаемой в наших лабораториях, и химией, изучаемой в природной лаборатории земной коры, есть теснейшая связь. Химия земной коры дает, однако, более грандиозную картину явлений, отличающуюся не только масштабом по сравнению с химией наших лабораторий, но и своей сложностью—проявлением в ней таких химических закономерностей и правильностей, которые пока не вошли еще в круг изучения химии.

Объектами земной химии, как и объектами общей химии будут тела разного физического состояния—газообразные, жидкие и твердые. Они получаются в результате химических реакций.

В земной химии—в минералогии—эти тела называются *минералами*, причем эти минералы в огромной своей части являются телами твердыми.

Из рассмотрения минералогии исключаются тела, образующиеся в живых организмах, которые изучаются в *биохимии*. Но продукты их разрушения, после отмирания организмов, входят в состав минералов и являются объектом минералогии.

Благодаря исключению продуктов химических реакций, идущих в организмах, количество минералов чрезвычайно уменьшается. Сейчас насчитывается от 2000 до 3000 минералов. Но количество всех их далеко еще не известно и ежегодно открываются их несколько, обычно немного, десятков. Количество это ничтожно по сравнению с количеством искусственно полученных соединений тех же химических элементов, исчисляемых многими десятками тысяч, превышающих 200000, и количеством соединений, находящихся в живом веществе, в организмах, где количество известных тел тоже исчисляется десятками тысяч. Теоретически ясно, что в организмах количество различных в них существующих соединений исчисляется миллионами, а количество тел, могущих быть полученными в лабораториях, не ограничено. Ничего подобного нет в минералогии. Здесь число минералов едва ли превысит в конце концов тысячи.

8. Огромное количество этих минералов тела твердые, кристаллические. Успехи кристаллографии за последние годы, в связи с изучением явлений дифракции X-лучей при прохождении их через кристалл (открытие в 1912 г. рентгенограмм М. Ф. Лауэ, В. Фридрихом и П. Книппингом), позволили тесно связать физическую структуру кристалла с его химическим составом, т. е. с его химией.

Эти явления доказали реальную правильность представлений о кристаллах, как пространственных решетках, открытых гением Бравэ (A. Bravais 1811—1863). В узлах этих решеток находятся атомы или ионы химических элементов, причем кристалл состоит из несмешивающихся, непроникающих друг друга, правильно геометрически расположенных в пространстве систем атомов или ионов. Старое представление о молекуле, перенесенное в учение о твердом веществе, должно получить изменение. Молекул в обычном виде в кристаллах нет. Кристалл является как бы одной молекулой. Мы видим в нем отдельные атомы, иногда (напр., в кальците— $\text{CaCO}_3$ —) их группы (напр., для  $\text{CO}_3$ ), колеблющиеся в пространстве около определенных его точек.

Выражаясь на обычном языке физико-химических представлений, мы должны здесь ждать ионов, правильно расположенных в пространстве и вероятно сопровождаемых соответствующими им электрическими зарядами.

Такое своеобразное химическое строение кристаллов несомненно отражается и на химических реакциях, в их среде идущих. А так как эта кристаллическая среда составляет главную, почти господствующую среду в химии земной коры, то мы и в ней в очень многих случаях не можем говорить о химических молекулах в обычном их понимании.

Мы должны определить минералогию, как *химию молекул и кристаллов в земной коре*, молекулярную и кристаллическую химию земной коры.

9. Продукты химических реакций земной коры — минералы — всегда или почти всегда доступны нашему изучению. Их точное физическое и химическое исследование является главным объектом минералогии.

Оно приобретает в ней гораздо большее значение для выяснения природных химических явлений, чем то, которое оно имеет в общей химии. Ибо изучение *химических процессов* в минералогии нередко отходит на второй план.

Химический процесс идет нередко медленно, в течение долгих периодов времени, тысяч, десятков тысяч, сотен тысяч лет. Нередко он происходит в недоступных нашему изучению частях земной коры.

В огромном большинстве случаев мы должны его восстанавливать, реконструировать, основываясь на свойствах и на условиях совместного нахождения продуктов этого процесса — минералов.

Это явление сразу ставит большое методологическое различие между работой химика и минералога.

В химии на первое место выступает лабораторный *опыт*. Для испытания природы химических явлений химик ставит естественные тела, им

самим сочетаемые, в определенные условия. В этих, им установленных условиях, он *наблюдает* ход процесса и изучает свойства получаемых в этих условиях продуктов.

Минералог имеет в своем распоряжении большую часть готовых продуктов реакций, сочетание которых вне его воли. По этим продуктам и по их сочетанию он восстанавливает образовавший их и вызвавший их сочетание химический процесс и его условия. *Наблюдение* в природе выступает для минералога на первый план, и среди этих наблюдений особое значение получает изучение закономерностей сочетания продуктов химических реакций земли—минералов—их *парагенезиса*.

Но на одном наблюдении минералог остановиться не может. Он должен проверить свои результаты на опыте. При изучении природных химических процессов мы постоянно сталкиваемся с такими их чертами, которые не отвечают нашим химическим представлениям, основанным на опыте наших лабораторий, и возбуждают новые вопросы в химии. В то же время природные реакции идут при условиях, чуждых в огромном большинстве случаев тем, которые обычны для химика. Все это заставляет вносить опыт в минералогию, т. к. наблюдение нередко не имеет достаточно данных для такого восстановления земных химических процессов, которое не возбуждало бы многих толкований.

Опыт был введен в минералогию уже в XVIII и даже в XVII столетии, но систематическое его применение началось во Франции, в Париже, в великом своими научными традициями старейшем исследовательском учреждении человечества—Collège de France. Два французских ученых—учитель и ученик—Мишель Леви (A. Michel Lévy 1844—1911) и Фуко (F. Fouqué 1828—1904) свели вековую работу в единое целое и положили основу современной *синтетической минералогии*. Через поколение позже них был создан новый центр работы в этой области в С. Америке, в Вашингтоне—Геофизическая Лаборатория Карнеги (она была создана на средства А. Карнеги).

**10.** Но все же *наблюдение в поле* и для минералогии, как и для геологии, является основным методом искания истины.

Оно получает свой настоящий объем и свое значение только благодаря тому, что научному наблюдению подвергается работа, связанная с техникой. Горное дело и *изыскание полезных ископаемых* являются той областью, откуда искони, из века, минералог черпает главный материал для своей научной работы.

Неотложной и важной задачей всего прогресса знания является систематическое использование для научной работы опыта и труда рудокопов. К счастью это является необходимым и для успешности самой техники.

Там, где это сознается, и где есть достаточный простор для свободного проявления человеческой личности, наибольший в наше время—в Северо-Американских Соединенных Штатах—видим мы в настоящее время теснейший союз минералогии и изыскания полезных ископаемых. Особенно с конца XIX, начала XX века, американские горные инженеры дали колоссальный научный материал для научных заключений. Они научно использовали тот великий подъем горного дела, который после междоусобной войны 1861—1865 г.г. сумели создать для своего экономического возрождения воля и труд свободных граждан Американской республики. Трудно сейчас учесть то значение, какое имеет для минералогии эта тесная связь науки и техники, использованная Американскими инженерами, собиравшими и собирающими научные факты, пользуясь всем объемом знаний в области геологии, физики, химии и минералогии.

II. Основываясь т. о. на опыте и наблюдении, минералогия и до сих пор, как это было много веков тому назад, является по существу *наукой описательной*.

В основе ее лежит научная *классификация* естественных продуктов земных химических реакций—минералов.

Благодаря такому своему характеру, минералогия входит в круг других классификаторских наук—зоологии и ботаники. И совершенно не случайно, но по существу дела, в своей истории минералогия теснейшим образом была связана одно время в одно целое с этими отраслями знания.

В единой Природе еще алхимики вековой традицией, связанной с научно-философскими исканиями Средневековья и эпохи Возрождения, выделили царства природы, и впервые по видимому Д'Эспанье (I. d'Espagnet нач. XVII ст.) указал их на земле три—царство животных, царство растений и царство минералов. В XVIII веке под влиянием двух величайших натуралистов шведа Линнея (С. Linné 1707—1778) и французца графа Леклерк де Бюффона (Comte g. Leclerc de Buffon 1707—1788) эти царства были охвачены во всем их объеме научной мыслью. Линней выдвинул статическую точку зрения—*Системы Природы*, Бюффон динамическую—*Естественной истории*.

Каждый из них дал научную обработку материала своего времени и оказал огромное влияние на весь ход мысли и работы последующих десятилетий.

С течением научной работы внешняя логическая связь, объединяющая «три царства» природы, отпала, т. к. не отвечала логической однородности объектов исследования. Виды минералов не могут быть помещены в одну реальную категорию тел с видами животных и растений.

Но две точки зрения на царство минералов сохранились неизбежно и сыграли огромную роль в понимании природы. Судьба их была не одинакова. Статический охват минералов Линнеем—через одно, два поколения после него—овладел научными работниками. История минералов, выдвинутая Бюффоном, совершенно замерла в их сознании, хотя на ближайших его современников она и оказала большое влияние и является одним из блестящих созданий этого человека, сумевшего сочетать свою волю с вечным исканием истины в охвате всей природы, как целого, и прожившего все долгие годы своей жизни только этим идейным исканием.

Наше время, когда историческое чувство проникло глубочайшим образом в научное мировоззрение человека, и эволюционные идеи охватили всю мысль натуралиста, мы неизбежно возвращаемся к динамическим воззрениям Бюффона, позволяющим удобно охватить бесконечно расширяющуюся и разрастающуюся область фактов минералогии.

В течение долгих лет, с 1890 по 1911, автор этой книги в Московском Университете, в полном несогласии с преподаванием минералогии на Западе и в России, стоял не на точке зрения системы природы, а на точке зрения истории минералов Бюффона. Теперь, оглядываясь в прошлое, он видит, что он стоял на том пути, по которому пошло научное развитие мысли.

Однако, охватывая минералогию, как историю минералов, автор этой книги отнюдь не думает видеть в этом течении мысли единственный правильный взгляд на Природу и не считает, что всегда при изучении минералогии надо идти только этим путем.

Оглядывая общим взором ход истории человеческой мысли и ее современное движение и напряжение, мы правда видим огромное значение динамических представлений. Учение об эволюции небесных светил и органических форм, кинетическая теория газов, явления радиоактивного распада химических элементов, теория строения атомов Резерфорда-Бора, теории теплоты и света, теория исторического прогресса, исторической эволюции научных достижений—дают нам, вместе с многим другим, прекрасное выражение силы и значения динамического взгляда на окружающее.

Однако, наряду с этим мы видим возможности проявления и другого аспекта Природы. Величайшее обобщение, достигнутое человеком в учении о симметрии в области физических наук, теория Гиббса (W. Gibbs 1839—1903) равновесий неоднородных сред с ее многочисленными и разнообразными применениями, метод моделирования явлений природы с помощью потенциалов и силовых линий, наконец, обращающие внимание в данный момент идеи Эйнштейна об относительности

открывают нам другую точку зрения на природу. Система Природы Линнея, по существу, подходила к этой форме представлений, и к ней же подходят многочисленные философские и этические построения, связанные с духовным содержанием человеческой личности.

Не в противоречии между этими двумя аспектами Природы, а в их синтезе надо искать правильного решения.

Но этот синтез недоступен отдельной личности. Он достигается коллективной суммой мысли и труда всех отдельных научных работников, которую представляет наука, взятая в целом, тогда как работа отдельного научного работника неизбежно идет по тому или по другому пути.

## II. Литература минералогии.

### 1. Литература по истории минералогии.

**12.** При каждом отдельном вопросе указана главнейшая литература, исходя из которой читатель может более подробно, точно и полно ознакомиться с предметом, его интересующим.

Здесь я хочу лишь привести главнейшие работы, касающиеся методов и библиографии минералогии и общие обзоры ее содержания. При этом я даю не полную библиографию, а лишь перечисление главнейших, наиболее важных работ. В указанных библиографиях или сводках легко найти дальнейшие нужные справки.

Старинная литература древней Греции и Эллинистической эпохи до нас дошла в жалких отрывках, литература Средневековья, Индии и Дальнего Востока имеет лишь исторический интерес. Сочинения XVI в. Агриколы и других, еще во второй половине XVIII века читавшиеся с пользой и поучением, давно имеют для нас тоже почти только исторический интерес.

Современная минералогия начинается со второй половины XVIII столетия, когда начался тот рост описательного естествознания, который с тех пор непрерывно продолжается уже второе столетие. Некоторые работы XVIII века еще до сих пор не потеряли своего значения при решении тех или иных вопросов дня и знакомство с ними может быть чрезвычайно полезно для современного ученого. Хотя значительная часть точных наблюдений, сделанных старыми мастерами нашей науки, и вошла большей частью — в обезличенной форме — в содержание нашей науки и может быть при анализе найдена в любой современной работе, все же обращение к старым подлинникам нередко дает новые, пропущенные

наблюдения, не замеченные современниками или ближайшими поколениями и ясные только для нас, более отдаленных потомков. Поэтому в указания литературы мною включены и более старые работы. Литература расположена по возможности в хронологическом порядке.

**13.** К сожалению, мы до сих пор не имели истории минералогии, скольконибудь отвечающей современным научным данным. История естествознания не написана, и старые ее обзоры, сделанные Уэвелем, Гёфером или Кювье, давным давно не отвечают имеющимся данным и не дают точного представления о ходе развития этой стороны человеческого мышления. Многочисленные новые попытки, связанные с переходом в новое—XX—столетие, не дали нам ничего важного. Наиболее полная история минералогии Кобелля (F. Kobell 1803—1882) выдвигает, согласно своему заданию (она принадлежит к серии *Geschichte d. Wissenschaften in Deutschland*, издаваемой Баварской Академией Наук), работы ученых немецкого языка в ущерб ходу развития науки в других странах и сверх сего заканчивается на обзоре первой половины XIX в.

В ниже приведенном списке я даю лишь перечисление главных работ по истории минералогии, оставляя в стороне сочинения по истории близких к ней наук— геологии, химии и физики, где всякий интересующийся найдет много исторических данных по отдельным вопросам минералогии. В больших обзорах минералогии, напр., Дана, Квенштедта, Чермака и др., точно так же заключаются многочисленные исторические указания. В нижеследующем обзоре из общих работ по истории естествознания приведены лишь главнейшие.

Список этот, как и другие, ниже приводимые, является выборным списком, но отнюдь не представляет полной библиографии <sup>1)</sup>.

1. Wallerius. *Brevis introductio in historiam literariam mineralogiae.* 2 изд. Ups. et Abo. 1779.
2. L. De Launay. *Minéralogie des anciens.* 1—11. Br. 1803.
3. Теряев. *История минералогии.* Спб. 1819.
4. Marx. *Geschichte d. Krystallkunde.* Karlsr. 1829.
5. G. Cuvier. *Histoire des sciences naturelles depuis leurs origines.* Publ. par de Saint Agy I—V. P. 1841—1845.
6. Whewell. *History of inductive sciences.* 3 ed. I—III. L. 1857 (есть неважный русский перевод).

---

<sup>1)</sup> См. более подробный указатель литературы по истории минералогии и близких дисциплин у меня: *Опыт описат. минер.* I. Спб. 1914, стр. 45, 716.

7. Fournet. De l'influence du mineur sur la marche de la civilisation. Lyon 1861 (Mémoires de l'Acad. de Lyon. XI—XII).
8. Lenz. Mineralogie d. alten Griechen u. Römern. Gotha 1861.
9. F. Kobell. Geschichte d. Mineralogie. München. 1864.
10. Delafosse. Rapport sur les progrès de la minéralogie. P. 1867.
11. Die Fortschritte d. berg u. hüttenwesen Wissenschaften in d. letzten 100 Jahren. Freib. 1867.
12. H. Fischer. Chronologischer Ueberblick üb. d. allmähliche Einführung d. Mikroskops in d. Studium d. Mineralogie. Freib. 1868.
13. Brush. A sketch of American mineralogy. Sal. 1882 (Reports of Americ. Assoc. f. advancem. of Sc.).
14. Schultze. Die Entwicklung d. Lehre v. d. Mineralpseudomorphosen. Dr. 1891.
15. M. Steinschneider. Lapidarien. Ein Kulturgesch. Versuch. «Semitic studies in memoriam of Dr. A. Kohut». B. 1891.
16. R. Caverni. Storia del metodo sperimentale in Italia. III. F. 1893.
17. A. Schrauf. Ueb. d. Einfluss d. Bergsegens auf d. Entwicklung d. mineralog. Wissenschaft. W. 1894.
18. Wrany. Die Pflege d. Mineralogie in Böhmen. Pr. 1896.
19. L. Finot. Les lapidaires indiens. P. 1896.
20. F. de Mely. Les lapidaires de l'antiquité et du moyen âge. I—V. P. 1896—1900.
21. I. Rostafinski. Sredniowieczna historia naturalna. System. zestawienie roslin, zwierzat, mineralów... uzyw. w Polsce od XII do XVI w. I—II. Kr. 1900.
22. S. Günther. Geschichte d. anorgan. Wissenschaften. B. 1901.
23. P. Wagner. Die mineralog. geolog. Durchforschung Sachsens in ihr. gesch. Entwickl. «Sitzungsber. und Abhandlungen d. naturf. Ges.» Isis. Dr. 1902.
24. E. Beekmann. Geschiedenis d. systemat. Mineralogie. H. (1906).
25. F. Gonnard. La minéralogie dans le dep. de Puy de Dome. Lyon. 1908.
26. F. Zambonini. La mineralogia in Italia negli ultimi cinquant'anni. R. 1912 (Atti d. Soc. Ital. per il progresso d. Scienze. V. 1911).
27. E. Wiedemann. Zur Mineralogie in Islam. «Sitzungsber. d. medic. phys. Ges. in Erlangen» XLIV. 1913. (из его «Beitr. z. Gesch. d. Naturw. bei d. Arabern» № 30).
28. La Science Française. I. P. 1913. (История минералогии, состав. A. Lacroix).

29. E. S. Dana. A century of science in America, with especial reference to American Journal of science, 1818—1918. N. H. 1918; дополненное издание из Am. Journal of Sc. По минералогии статьи W. Ford и R. Sosman <sup>1)</sup>).

## 2. Литература по библиографии минералогии.

14. Библиография минералогии, как вообще библиография естествознания, находится сейчас в очень хорошем положении. Старая литература до XIX века собрана в ряде больших указателей, которые здесь даются, новая за XIX и XX столетия собрана коллективным трудом ученых всех стран. В Catalogue of scientific papers, издаваемым Английским Королевским Обществом, сведена литература для XIX века. В настоящее время энергично и систематически королевское английское общество пополняет замеченные дефекты. Для XX века из года в год издается библиография международным союзом академий. К сожалению, бедственные события 1914—1922 г., приведшие к чрезвычайному обострению и осложнению национальной и государственной распри, остановили и это предприятие, как многое другое. Научный обмен между отдельными народами и государствами нарушился. Повидимому, обеспечено окончание библиографии до 1920 года включительно. Надо думать, что неизбежное в будущем улучшение положения науки в человеческом обществе и восстановление научных сношений позволит довести до конца это огромное и столь необходимое предприятие.

К сожалению, хуже всего зарегистрирована русская литература, которая стала точно собираться лишь последнее время — а старая литература до середины XIX века собрана все еще не очень полно. Для библиографии очень много дают журналы — особенно такие, как старый Neues Jahrbuch f. Mineralogie, дающие не только библиографические указатели, но и рефераты научных работ по минералогии более, чем за 80 лет. Помимо общих указателей по естествознанию, куда входит литература (книжная и журнальная) по минералогии, имеется огромная топографическая литература, где дается описание минералов данной страны. Эта литература мною здесь не приводится <sup>2)</sup>. Очень важное значение имеют каталоги специальных минералогических библиотек; из

<sup>1)</sup> В серии «История науки в России», издаваемой Российской Академией Наук, готовится издание истории минералогии в России, составленное акад. А. Е. Ферманом.

<sup>2)</sup> См. список литературы по топографической минералогии в моем Опыте описат. минер. I. II. 1914, стр. 48, 717, 776. В новом готовящемся к печати издании этот список сильно пополнен.



223

таких каталогов можно указать: Минерал. Общ. в Петербурге (П. Пузыревский. Каталогъ библиот. Петерб. Минерал. Общ. Спб. 1867), Британского Музея, его естественноисторического Кенсингтонского отделения (Catalogue of books, manuscripts, maps a. drawings of British Museum (Natural History) I—IV. L. 1903—1913, не окончен, до Sn), Минералогического Отделения Венского Музея (С. Hlawatsch. Bibliothekskatalog der Mineralog. Petrogr. Abtheilung d. K—K. Naturhist. Museums in Wien. I—II. W. 1910—1912, также в Annalen d. Hofmuseum), Военно-Медицинской Академии в Петрограде. (Систематический Каталог библиотеки Медико-Хирург. Академии. I—IV. Спб. 1871—1879. Доп. 1882 и сл.).

В нижеследующем списке помещены помимо чисто минералогических указателей также некоторые важнейшие общие указатели по литературе по естествознанию. Можно отметить из таких указателей следующие: <sup>1)</sup>

1. L. T. Gronovius. Bibliotheca regni animalis atque lapidei. Lugd. Bat. 1760.
2. J. F. Gmelin's. Linné's Vollständiges Natursystem d. Mineralreichs. I. Nürnberg. 1777. 83.
3. C. F. W. Schall. Anleitung z. Kenntniss d. besten Bücher in Mineralogie. 2-te Aufl. W. 1789.
4. J. H. Kopp, K. C. v. Leonhard u. H. Gärtner. Propedeutik d. Mineralogie. Fr. a. M. 1817.
5. J. C. Poggendorff. Biographisch-literarisches Handwörterbuch z. Geschichte d. exact. Wissensch. I—II. L. 1863. III, her. v. B. Feddersen u. A. v. Oettingen. L. 1898. IV, her. v. A. v. Oettingen. L. 1904.
6. Catalogue of scientific papers of Royal Society. I—XVII. L. 1867—1921.
7. Repertorium d. Mineralog. u. Krystallographischer Literatur u. Generalregister d. Zeitschrift f. Krystallographie. I—IV. L. 1886—1914.
8. International Catalogue of scientific literature. G. Mineralogy, including petrology a. crystallography. I—XII. L. 1902—1914.

Более полная литература указана в больших общих сводках по минералогии, напр., Dana, Hintze, моем Опыте описательной минералогии.

### 3. Литература журналов.

**15.** Огромное значение в конце-концов приобрели, особенно со второй половины XIX столетия, специальные научные журналы по

<sup>1)</sup> Более подробный список см. в моем Опыте описат. минер. I. с. 26, 711, 776.

минералогии. Такие журналы, сперва в виде неопределенных и небольших сборников, появились в самом концѣ XVIII стол., но еще раньше статьи минералогического характера появлялись в журналах общего характера, в изданиях Академий или ученых обществ или в журналах, посвященных горному делу или химии <sup>1)</sup>. Журналы имели значение не только потому, что они помещали статьи по минералогии, но и потому, что они давали рефераты новых работ по минералогии, которые в удобной форме позволяли следить за все разрастающейся минералогической литературой. Такие рефераты давались и специальными обзорами, которые или излагали литературу по минералогии в виде сжатых извлечений, или классифицировали по специальным иногда узким вопросам <sup>2)</sup>.

Из журналов главнейшие следующие:

1. American Journal of Science. N. Haven 1818—1922.
2. Горный Журналъ. Спб. 1825—1917. М. 1922.
3. Neues Jahrbuch f. Mineralogie. Stuttg. 1830—1922.
4. Verhandlungen d. St. Petersburger Mineralog. Gesellschaft. Spb. 1842—1865.
5. Записки С. Петербургскаго Минералог. Общества. Спб. 1866—1922.
6. Transactions of American Institute of mining engineers. N. York 1871—1922.
7. Mineralogische u. Petrographische Mitteilungen. Wien 1871—1922.
8. Mineralogical Magazine. L. 1876—1922.
9. Zeitschrift f. Mineralogie u. Krystallographie. L. 1877—1922.
10. Bulletin de la Société Franc. de Minéral. P. 1878—1922.
11. Rivista di mineralogia e cristallografia. Pad. 1887—1922.
12. Centralblatt f. Mineralogie, Geologie u. Palaeont. L. 1900—1922.
13. Arkiv f. Kemi, Mineralogi och Geologi. St. 1903—1922.
14. Economic Geology. Chic. 1906—1922.
15. Труды Геологическаго и Минералогическаго Музея Академii Наукъ. II. 1906—1922.
16. Записки Горного Института. II. 1908—1917.
17. Fortschritte d. Mineralogie. Iena 1911—1922.
18. Труды радиевой экспедиции Академii Наукъ. II. 1914—1922.
19. Beiträge zur Krystallographie u. Mineralogie. L. 1914—1922.
20. Chemie d. Erde. Iena 1914—1922.
21. American Mineralogist. Lanc. 1916—1922.

<sup>1)</sup> Список главнейших журналов, имеющих значение для минералогии, см. мой Опыт. I. II. 1914, стр. 41, 716.

<sup>2)</sup> Библиографію таких рефератов см. мой Опыт I. II. 1914, стр. 24 сл., 711.

4. Общие обзоры и большие руководства по минералогии.

16. Несомненно главный материал по минералогии сосредоточивался в специальных трактатах, больших руководствах по минералогии, нередко составившихся мастерами своего дела, величайшими специалистами своего времени, охватывавшими в общей переработке весь научный материал, им доступный. Поэтому, очень многие из таких больших трактатов, нередко вытекшие из курсов, читанных в высших учебных заведениях, сохранили свое значение до настоящего времени. К ним приходится обращаться как к первоисточнику, не только для выяснения генезиса тех или иных представлений, но и для получения новых фактов, впервые здесь опубликованных. Ниже приводимый список захватывает лишь главнейшие из таких трудов, расположенные в хронологическом порядке <sup>1)</sup>. В этот список помещены немногие из трудов по топографической минералогии, которые довольно близко подходят к тому же типу общих обзоров содержания науки <sup>2)</sup>. Из таких больших обзоров и курсов, можно отметить:

- (1747) 1772. 1. J. Wallerius. *Systema mineralogicum*. I—II. 1772—75. (первое издание в 1747 под заглавием *Mineralogia*. St. 1747. Есть русский перевод 1-го изд. Н. Шлюттера. Спб. 1763).
1794. 2. F. Estner. *Versuch einer Mineralogie*. I—III. W. 1794—1804.
- (1793) 1799. 3. L. Emmerling. *Lehrbuch d. Mineralogie*. 2 изд. I—II. Giessen 1799—1802 (1 изд. в 1793—1797).
1801. 4. F. Reuss. *Lehrbuch d. Mineralogie*. I—IV. L. 1801—1806.
1811. 5. C. A. Hofmann. *Handbuch d. Mineralogie*. I—IV. Freib. 1811—1818 (последние тома изданы Брейтгауптом).
- (1804) 1820. 6. R. Jameson. *A system of mineralogy*. 3 ed. I—III. Ed. 1820 (первое издание в 1804).
- (1800) 1823. 7. C. Hauy. *Traité de minéralogie*. 2 éd. I—IV. P. 1823 (первое издание в 1800).
1825. 8. F. Mohs. *Treatise on mineralogy*. Translated with additions by W. Haidinger. I—III. Ed. 1825.
1832. 9. Д. Соколовъ. *Руководство къ минералогии*. I—II. Спб. 1832. Дополнение. Спб. 1838.

<sup>1)</sup> Хороший список таких общих трактатов по минералогии см. Dana. *System of Mineralogy*. N. Y. 1892. p. и в дополнениях.

<sup>2)</sup> Список по топографической минералогии у меня. Опыт I. 1914. I. с.

- (1824) 1832. 10. F. Beudant. *Traité élémentaire de minéralogie*. 2 éd. I—II. P. 1832 (первое издание в 1824).
- (1832) 1836. 11. F. Mohs. *Anfangsgründe d. Mineralogie*, bearb. v. Zippe I—II. W. 1836—1839 (первое издание в 1832).
- (1802) 1836. 12. T. Thomson. *Outlines of mineralogy*. I—II. L. 1836 (первое издание в 1802).
1836. 13. J. Breithaupt. *Vollständiges Handbuch d. Mineralogie*. I—III. L. u. Dr. 1836—1847.
- (1831) 1839. 14. E. Glocker. *Handbuch d. Mineralogie*. 2 Aufl. Nürnberg. 1839 (первое издание в 1831).
1841. 15. J. Huot. *Manuel de minéralogie*. I—II. P. 1841.
- (1829) 1843. 16. C. Hartmann. *Handbuch d. Mineralogie*. 2-te Aufl. I—II. Weim. 1843—1850 (1-ое изд. в 1829).
1844. 17. Э. Эйхвальдъ. *Ориктогнозия*. Спб. 1844.
- (1816) 1844. 18. W. Phillips. *Treatise on mineralogy*. 5 ed. with additions by Alger. Bost. 1844 (4-ое издание было дано R. Allan в 1837 году. Первое в 1816).
1844. 19. Dufrenoy. *Traité de minéralogie*. I—III. P. 1844—1847 (второе издание I—V. P. 1859 хуже).
- (1813) 1845. 20. Hausmann. *System u. Geschichte d. Mineralkörper* I—II. Gött. 1845—1847 (первое издание в 1813).
1845. 21. W. Haidinger. *Handbuch d. bestimm. Mineralogie* W. 1845.
- (1832) 1852. 22. Shepard. *Treatise on mineralogy*. 3 ed. I—III. N. Haven 1852 (1-ое в 1832).
- (1816) 1852. 23. J. Brooke a. W. Miller. *Introduction to mineralogy by late W. Phillips, with additions a. alterations*. L. 1852 (первое издание Phillips'a вышло в 1816 Ср. № 18).
1853. 24. A. Erdmann. *Lärobok i mineralogien*. St. 1853.
1862. 25. A. Des Cloiseaux. *Manuel de minéralogie*. I—II. P. 1862—1863.
1873. 26. J. R. Blum. *Lehrbuch d. Mineralogie*. I—II. St. 1873—1874.
1873. 27. Bombicci. *Corso di mineralogia*. 2 ed. I—II. Bol. 1873—1874.
1875. 28. J. Senft. *Synopsis d. Mineralogie*. Hann. 1875.
- (1853) 1877. 29. Quenstedt. *Handbuch d. Mineralogie*. 3 Aufl. Tüb. 1877 (первое в 1853).

- (1845) 1879. 30. I. Domeyko. Elementos de mineraloija. 3 изд. I и Append. I—III. Sant. 1879—1883 (первое издание в 1845. Перепечатано без изменений Sant. 1897—1898).
- (1850) 1887. 31. J. Dana. Manual of mineralogy. 4 ed. N. Y. 1887 (первое в 1850).
1891. 32. S. Hunt. Systematic mineralogy. N. Y. 1891.
- (1837) 1892. 33. J. S. Dana. The system of mineralogy. 6 ed. by J. D. Dana N. Y. 1892. App. I—III. 1899 (первое издание этой лучшей сейчас сводки наших сведений по минералогии вышло в 1837. В 1911 году она переиздана без изменений).
1895. 34. A. Lacroix. Minéralogie de la France. I—V. P. 1895—1914.
1897. 35. C. Hintze. Handbuch d. Mineralogie. I—II. L. 1897—1922. Недокончено. Продолжается Линком. (Самый подробный свод минералогических фактов).
1900. 36. Renard et Stöber. Notices de minéralogie. Gand. 1900.
1902. 37. H. Miers. Mineralogy. L. 1902 (печатается новое издание под редакцией Bowman'a).
- (1886) 1904. 38. M. Bauer. Handbuch d. Mineralogie. 2 изд. 1904 (первое издание в 1886).
- (1900) 1906. 39. M. Rivas Mateos. Compendio de mineralogia aplicada. 2 ed. Madr. 1906 (первое издание в 1900).
- (1846) 1907. 40. F. Naumann. Handbuch d. Mineralogie, bearb. von F. Zirkel. 15-ое изд. L. 1907 (первое издание в 1846).
- (1884) 1908. 41. A. de Lapparent. Cours de minéralogie. 4 éd. P. (первое изд. в 1884).
42. В. Вернадский. Опыт описательной минералогии. I—II. П. 1908—1922 (продолжается).
1911. 43. C. Doelter. Handbuch d. Mineralchemie. I—IV. L. 1911—1922 (продолжается). Самая большая сводка по химическим свойствам минералов. Дельтер—редактор и составитель некоторых отделов).
- (1892) 1920. 44. F. Klockmann. Lehrbuch d. Mineralogie. 8 Aufl. St. 1920. (первое изд. в 1892).
45. F. Niggli. Lehrbuch d. Mineralogie. B. 1920.
- (1881) 1921. 46. G. Tschermak. Lehrbuch d. Mineralogie. 8-te Aufl. bearb. v. F. Becke. W. 1921 (первое издание в 1881).

(1877) 1922. 47. E. S. Dana. A textbook of mineralogy. N. Y. 1922 (первое в 1877).

### 5. Определители минералов <sup>1)</sup>.

17. Определение минералов давно составляет одну из важных отраслей практической минералогии, причем, конечно, дело идет исключительно об определении твердых минералов. Определение минералов микроскопически мелких выросло в совершенно особый отдел науки, вошедший в петрографию, хотя по существу методы этого определения захватывают более широкую область явлений (при синтезе минералов, при изучении почв, рыхлых осадков и т. д.). Они основаны на оптических приемах. Здесь приведены только главнейшие определители минералов, как макроскопических, так и микроскопических, причем по отношению к последним необходимо иметь в виду неполноту методов, т. е. то, что приняты во внимание главным образом пороодообразующие минералы. Из определителей приводятся здесь только новейшие, вышедшие или переизданные в XX веке <sup>2)</sup>.

Таковы:

1. J. Schroeder v. d. Kalk. Der Strich d. sogenannten opaken Mineralien. Centralblatt f. Miner. St. 1901.
2. Brush. A manual of determinative mineralogy. 16 ed. by S. Penfield. N. Y. 1903 (1-ое издание в 1875; до сих пор лучший определитель).
3. Eacle. Mineral tables for determination of minerals by their physical properties. N. Y. 1904.
4. J. Schroeder v. d. Kalk. Tabellen zu mikrosk. Bestimmung d. Mineralien nach ihren Brechungsexponenten. 2-te Aufl. v. E. Beckmann. Wies. 1906 (1-ое изд. в 1900).
5. J. P. Iddings. Rock minerals. N. Y. 1906.
6. A. Plattner, Die Probiertkunst. 7 изд. 1907. (1-ое в 1835).
7. L. Dupare et F. Pierce. Traité de technique minéralogique. I—II. L. 1907—1913.

---

<sup>1)</sup> Новейший список всех известных минералов, расположенный по химической системе см. P. Groth и K. Mieleitner. Mineralogische Tabellen. М. и В. 1921. Обзоры новых минералов постоянно помещаются в Mineralogical Magazine (Л. Спенсером) и American Journal of Science (W. Ford'ом).

<sup>2)</sup> См. библиографию у меня Опыт опис. мин. I. II. 1914. 16, 21, 708, 709.

8. J. Landauer. Löthrohranalyse. 3 изд. L. 1907 (первое издание в 1875; есть русский перевод старого издания).
9. A. Johannsen. A key to determination of minerals in thin sections. N. Y. 1908.
10. Z. Rozen i S. Kamecki. Klucz do oznaczania mineralów na podstawie cech zewnetr. W. 1908.
11. И. Танатаръ. Таблицы для определения минераловъ. Ек. 1908.
12. E. Wright. Methods of petrogr.-mineral. researches. Wash. 1911.
13. C. Fuch's. Anleitung z. Bestimmen d. Mineralien. 6 Aufl. bearb. v. R. Brauns. Gies. 1913.
14. A. Johannsen. Manual of petrograph. methods. N. Y. 1914.
15. F. Wahnschaffe u. F. Schucht. Anleitung z. wissensch. Bodenuntersuchung. 3-te Aufl. B. 1919.
16. R. Reinisch. Petrograph. Praktikum. I. 3-te Aufl. B. 1914 (первое издание в 1901).
17. E. Weinschenk. Gesteinsbild. Mineralien. 3-te Aufl. Fr. 1915.
18. G. Berg. Die mikrosk. Untersuchung d. Erzlagerstätten. B. 1915.
19. Б. Поповъ. Оптич. опредѣлитель важнѣйш. порообраз. минераловъ. П. 1916.
20. J. Murdoch. Microsc. determination of opaque minerals. L. 1916.
21. A. Weisbach. Tabellen z. Bestim. d. Mineralien mittelst d. äusser Kennz. 10-te. Aufl. Bearb. v. E. Kolbeck (1-ое изд. 1866. Есть русский перевод). L. 1917.
22. H. Grubenmann. Tabellen z. Bestim. d. Mineralien, 3-te Aufl. Z. 1917.
23. J. Hirschwald. Anleitung z. pyrochem. Analyse. B. 1920.
24. H. Schneiderhorn. Die mikrosk. Untersuchung d. undursicht. Mineralien in auffal. Licht. St. 1920.
25. W. Davy a. C. Farnham. Microsc. examination of the ore minerals. N. Y. 1920.
26. H. Rosenbusch. Mikroskop. Physiographie d. mass. Gesteine. I. 5-te Aufl. her. v. Wülfing. L. 1921.
27. F. Kobell. Anleitung z. Bestimmung d. Mineralien. 17-te Aufl. v. Oebbecke. München 1921 (первое издание в 1830. Первое русское издание в 1832, 4-ое русское изд. А. Лёша Спб. 1911).
28. J. Lewis. Determinative mineralogy. 3 ed. N. Y. 1921.
29. F. Steinriede. Anleitung z. miner. Bodenanalyse. V. Aufl. L. 1921.
30. E. Larsen. The microsc. determination of non opaque minerals. W. 1921.

### III. Земная кора.

#### 1. Оболочки земной коры.

18. «Земной корой» мы называем верхнюю поверхность оболочку земного шара, доступную в настоящее время непосредственному наблюдению и исследованию. В минералогии в настоящее время изучаются главным образом химические процессы, идущие в этой части нашей планеты. Мы не можем переносить целиком полученные здесь результаты в глубокие слои земли хотя бы потому, что совершенно неясно, является ли внутренняя часть земного шара областью каких бы то ни было химических изменений. Очень возможно, что в ней не идут никакие химические реакции, что в ней установилось термодинамическое равновесие, т. е. в ней не будет притока и изменения энергии. Допустимо, что внутри земного шара мы имеем область *химического бездействия* или область таких химических реакций, скорость которых чрезвычайно мала и, следовательно, с точки зрения наших обычных представлений совсем не подходит к быстрым химическим изменениям, которые мы привыкли называть химическими процессами. Нечто подобное представляют разреженные газовые слои верхних частей атмосферы земли или междупланетное пространство.

Но помимо этих, по необходимости гипотетических, соображений мы можем сейчас совершенно точно утверждать, что области земного шара, лежащие глубже доступной непосредственному изучению его поверхностной оболочки, химически — по своему валовому составу — должны отличаться от состава земной коры. Так, прежде всего удельный вес (а, следовательно, и химический состав) земного шара иной, около 5,6<sup>1)</sup>, чем удельный вес поверхностных слоев, состав которых нам известен, равный 2.6—2.8, в среднем по Вашингтону (1920) 2.7.

Земля в целом действует как магнит, но это необъяснимо с точки зрения состава ее наружных горных пород. Приходится допустить, что состав ее внутренних слоев иной, вызывающий ее магнитные (ферромагнитные) свойства.

С другой стороны, изучение землетрясений показывает нам с несомненностью, что в земных глубинах вещество находится в физическом и механическом состоянии резко ином, чем то, которое мы наблюдаем кругом нас. Распространение движений, связанных с большими земле-

<sup>1)</sup> Из наблюдений над тяжестью на разных высотах:

Мейденхолл . . . . .	5.77
Штернек . . . . .	5.90

Из наблюдений с помощью кругильных весов:

Корню и Байль . . . . .	5.56
Вильсинг . . . . .	5.58

трясениями, идет во внутренних частях земного шара совершенно иначе, чем в наружных,—оно встречает в них другое сопротивление. На глубине приблизительно  $\frac{1}{3}$  земного радиуса движения—согрясения—не распространяются на цело, но часть их отражается от более плотных масс внутренности земли. Это явление не может быть объяснено изменением пород от давления, а указывает на материальное изменение их состава.

Наконец, к тому же самому заключению приводят наблюдения геодезистов над аномалиями тяготения на земной поверхности. В верхнем слое земного шара на глубине до 122—124 километров (по О. А. Баклунду 1846—1916) распределение масс не однородное, и они находятся в неустойчивом подвижном равновесии. Впервые Пратт (J. H. Pratt. 1809—1871) в 1852 году высказал предположение, что над возвышенностями (горами, континентами) скопляются более легкие массы, в местах впадин (океаны) более тяжелые. В общем тяжелые и легкие части в земной коре уравнивают друг друга. Это явление было названо *изостазисом* и сейчас может считаться подтверждающимся все более и более значительным количеством фактов. Можно считать, что оно наблюдается только в земной коре: за ее пределами (изостатическая поверхность) слои земли однородны. Земная кора состоит в разных своих участках из неоднородных по удельному весу оболочек. Ниже, в земном шаре, идут оболочки, однородные по удельному весу.

Может быть, правильно принять *изостатическую поверхность* за нижнюю границу земной коры, при чем необходимо признать, что наши знания уже по отношению к нижним частям земной коры чрезвычайно неясны <sup>1)</sup>. Все химические процессы, здесь существующие, имеют совершенно иной характер, чем на земной поверхности, хотя бы потому что давление здесь достигает многих тысяч атмосфер.

Ничтожность наших точных знаний об этих областях земной коры делает смутным, почему до сих пор в науке существуют и могут ужиться вместе диаметрально противоположные представления о строении внутреннего ядра земного шара. Внутренность земли одни считают горячей, расплавленной магмой (напр., сторонники теории Лапласа), другие—твердой массой. Наконец, возможны представления о ней, как о массе холодной—м. б., в виде скопления холодных газов (теория Риттера). Между этими крайними течениями есть разнообразные переходы.

Одновременное существование в науке взаимно исключающих представлений ясно указывает нам на степень достоверности наших познаний. Поэтому мы можем оставить в стороне без рассмотрения все части нашей планеты, кроме земной коры.

<sup>1)</sup> Новые определения Гайфорда и Боуи (Bowie) (1917) дают глубину 95—97. km.

Замечу, что название «земная кора» тесно связано с одним из представлений о строении земли, с предположением, что земля была некогда огненножидкой, затем застывала с поверхности, покрылась «корой», которую мы и изучаем.

Я буду употреблять это слово, не связывая с ним этих представлений, т. к. уже давно геологи убедились, что в верхних слоях земной поверхности — в земной коре — нет никаких следов этой гипотетической первичной коры нашей планеты.

**19.** Итак, *земной корой* мы будем называть верхнюю оболочку нашей планеты, резко отличную и по составу, и по физическому состоянию составляющего ее вещества от внутренних ее частей. Принимая ее мощность в 100—125 км., мы видим, что она составляет незначительную часть земного радиуса. В общем эта поверхностная оболочка будет составлять  $1.5-1.9 \cdot 10^{-2}$  часть среднего земного радиуса, т. е. меньше  $\frac{1}{32}$  его части<sup>1)</sup>. Если мы примем во внимание газы, сопровождающие землю в ее вращении, и возьмем максимальную высоту атмосферы в 600 килом., то эти числа увеличатся, но не очень значительно. Взятая вместе с такой газовой оболочкой земная кора будет составлять не более  $\frac{1}{10}$  части земного радиуса, колебаться в пределах  $1-1.04 \cdot 10^{-1}$  ее части.

Огромное большинство самых грандиозных явлений геологии далеко не достигает пределов этой оболочки; так, землетрясения вызываются причинами, в крайних и редких случаях происходящими на глубине 60 км., а обычно лишь на глубине до 30 км.; еще гораздо ближе к поверхности лежат очаги вулканических извержений; причины, вызывающие образование самых могучих горных цепей, смещение континентов, не идут глубже 50 км., и едва ли можно относить их на явления, превышающие 70 км.

Можно без ошибки сказать, что область, подлежащая геологическому изучению, из которой к нам обычно доходят те или иные отголоски происходящих там явлений, не превышает 50—60 км., т. е. не превышает  $7.2-8.6 \times 10^{-3}$  земного радиуса в случае принятия во внимание атмосферы и  $7.8-9.4 \times 10^{-3}$  его величины в тех случаях, когда мы оставим в стороне газовую оболочку земли.

Но и из этой области в 50—60 км. к нам доходят редкие отголоски, и едва ли мы имеем значительное проникновение вещества с этой глубины на земную поверхность. Может быть, только некоторые газы, как азот, водород или благородные газы, приходят в заметном количестве на земную поверхность из этих глубин.

<sup>1)</sup> По Хэйфорду (1906) величина земного радиуса колеблется в пределах 6356.87—6378.28 километров.

Для этих глубин мы несомненно имеем область не только высокого давления, но и высокой температуры.

**20.** Область земной коры еще больше сократится, если мы остановимся на химических явлениях, составляющих объект минералогии.

Явления, изучаемые в минералогии, едва ли выходят за пределы 20—25 км. Только в этих пределах мы имеем указания на интенсивную циркуляцию вещества и на обмен и перемещение его во время химических процессов; отсюда мы можем изучать продукты природных химических реакций, изучать их строение. Эта область составляет всего около  $3 \cdot 10^{-3}$  части земного радиуса, если мы оставим в стороне атмосферу.

Верхние части атмосферы тоже нам непосредственно недоступны, и из 600 ее километров только нижние 15—20 км. (§ 24) могут быть непосредственно изучаемы. Т. о. вся область непосредственного минералогического исследования составит всего 35—45 км., т. е.  $5-7 \times 10^{-3}$  часть земного радиуса. Тонкая пленка нашей планеты, являющаяся непосредственным объектом минералогии, составляет  $\frac{1}{3}-\frac{1}{6}$  часть земной коры, взятой без атмосферы, или  $3-5 \cdot 10^{-2}$  часть ее, взятую с газовой оболочкой.

Даже по отношению к области геологических явлений, т. е. глубины 70 км. (§ 19), область минералогических явлений не составляет и половины ее мощности.

**21.** В основе всех явлений, изучаемых в минералогии, должны быть поставлены законы равновесий, которые в яркой форме были выяснены в 1874—1878 годах американским ученым У. Гиббсом (W. Gibbs, 1839—1903), развившим в оригинальной и удобной для работы форме эту область термодинамики. История минералогии последнего времени представляет постепенное проникновение в нее этих основных идей, лежащих в основе современной физической химии.

Прилагая к минералогии учение о равновесиях, мы выдвигаем неизбежно на первое место изучение ее явлений в связи с параметрами этих равновесий — температурой ( $t$ ) и давлением ( $p$ ), их компонентами (химическим составом —  $k$ ) и фазами — состояниями вещества, участвующего в равновесиях ( $\varphi$ ).

Принимая во внимание эти величины —  $t$ ,  $p$ ,  $k$  и  $\varphi$ , мы можем в связи с ними разбить земную кору на области, ими характеризующиеся, которые мы будем называть *земными оболочками*.

Многие из этих оболочек были установлены много раньше, чем стали применять законы равновесий к явлениям минералогии; они устанавливались чисто эмпирическим путем, и только много позже — целые научные поколения спустя — увидели, что, создавая эти оболочки, в действительности вносили в явления минералогии учение о равновесиях.

Исходя из параметров равновесий — температуры и давления — мы имеем *термодинамические оболочки*, исходя из фаз — состояния вещества — мы выделяем для земной коры *фазовые оболочки*. Менее ясны оболочки, связанные с химическим составом различных областей земной коры. Однако и здесь мы можем с некоторой степенью достоверности (§ 26) их выделить, как *химические оболочки*.

Фазовые, термодинамические и химические оболочки целиком отвечают элементам систем равновесий. Но в земной коре приходится вводить еще такие факторы, которые не являются факторами равновесий, изучаемых в физической химии. Таким фактором является мир организмов, живое вещество, точно также определяющий области — оболочки — земной коры (*биосфера*) и приводящий к явлениям, подчиняющимся законам равновесия.

**22.** Мы можем говорить об оболочках земной коры, п. ч. области, находящиеся в особых состояниях температуры, давления, химического состава вещества, его физической фазы, животного и растительного мира, охватывают концентрическими слоями весь земной шар. Каждая оболочка характеризуется определенными минералами, в ней образующимися, и представляет совершенно особую область химических процессов. Минералы, устойчивые в одной области, неустойчивы в другой, и химические элементы, дающие в одной области одни тела, дают в другой совершенно иные соединения. Простой переход — вследствие каких бы то ни было причин — минерала из одной оболочки в другую совершенно неизбежно вызывает в нем изменения и перегруппировки, отвечающие новым условиям его существования.

Эти оболочки не вполне совпадают друг с другом; частью захватывают разные области земной коры. В одной и той же термодинамической оболочке могут находиться несколько фазовых или химических и обратно — в одной и той же фазовой несколько химических и т. п.

Несмотря, однако, на эти совпадения и на неясность границы между разными оболочками, их различение является чрезвычайно важным, т. к. 1) позволяет легко охватывать общие законности минералогии и 2) сразу указывает, что эти законности связаны не с географическим местом, но общи для всей земной коры и связаны с положением изучаемой области от центра нашей планеты. В этом, напр., сказывается резкое отличие минералогических законностей от большинства законностей физико-географических.

Не менее важно и то, что мы можем этим путем ввести в наше изучение элемент времени. Оболочки меняются в размерах, смещаются и перемещаются в течение *геологического времени*. Благодаря геологическим процессам область земной коры (т. е. составляющие ее минералы),

находившаяся в одной оболочке, оказывается передвинутой в другую. Эти смещения совершаются медленно, могут быть замечены лишь по прошествии тысячелетий, обычно многих тысячелетий. Однако, в геологии мы наблюдаем следы процессов, длившихся десятками миллионов лет, и, очевидно, в ней мы постоянно изучаем перенесения участков земной коры из одной оболочки в другую и соответствующие изменения составляющих их минералов.

Насколько мы можем судить, все эти геологически длительные смещения не выходят за пределы тех 20—25 километров, которые определяют земную кору, минералогически изучаемую. В этих пределах помещаются в своей мощности все более или менее измененные осадочные слои, от самых нижних архейских и альгонкских до новейших—собранные на протяжении многих десятков миллионов лет. Они являются результатом накопления осадков, их изменения и их размывания. Отдельные перемещения, шедшие в одном направлении, напр., отложение осадков или денудация, их смывание, процессы, связанные с поднятием слоев или с их опусканием, редко когда выходят за пределы 5—15 километров.

И хотя эти смещения, взятые в сумме, едва ли составляют  $\frac{1}{450}$  часть земного радиуса и с планетной точки зрения мелки и ничтожны,— с точки зрения минералогической они огромны, т. к. целиком совпадают с той частью земной коры, которая может быть минералогически изучаема. Только благодаря им мы имеем минералы из разных глубин—из разных термодинамических оболочек.

**23.** Раньше всего—уже в древние века эллинской цивилизации—были выделены некоторые из *фазовых оболочек*. Они бросались в глаза при самом начале научного охвата нашей планеты и несомненно они являются наиболее яркой чертой ее планетного характера. Газовая оболочка—атмосфера, как мы знаем, свойственна не только земле, она наблюдается и на других планетах—на Марсе, Венере и т. д.

Мы можем в основу нашего рассмотрения положить эти фазовые оболочки, тем более, что, очевидно, характер всех минералов и характер их образующих реакций будет резко отличаться для газообразного, жидкого и твердого состояния вещества.

Фазовых оболочек мы имеем три—столько же, сколько нам известно физических состояний вещества.

- Это будут: 1) Верхняя газовая оболочка—*атмосфера*.  
2) Промежуточная жидкая оболочка—*гидросфера*.  
3) Нижняя твердая оболочка—*литосфера*.

В пределах этих оболочек мы будем различать термодинамические, химические и биологические оболочки.

**24.** *Атмосферой* или воздушным океаном мы называем слой газов, следующий за суточным движением земли. Очень вероятно, что какой-нибудь верхней границы ее совсем не существует, и что в тонко разреженном виде газы, следующие за суточным движением земли, незаметно переходят в разреженную среду междупланетного пространства. Есть ряд данных, указывающих на то, что между атмосферами разных планет есть обмен газовыми молекулами.

Наблюдения над метеоритами и «падающими звездами» показывают, что они раскаляются от сопротивления воздуха или фосфоресцируют на средней высоте 120 килом., часто 150—200 км., в некоторых случаях больше. Следовательно, даже на этих высотах есть заметные количества газовых частиц. Другие, гл. обр., оптические явления атмосферы делают возможным увеличить пределы газов, следующих за суточным движением земли, до 450—500 килом. Изучение северных сияний подымает эту границу свыше 600 километров (607 км. по Штермеру. 1920). Едва ли можно сомневаться, что некоторые формы вещества, связанного с землей, идут еще дальше.

Однако, нашему точному исследованию доступна и в вопросах минералогии имеет большое значение лишь небольшая по объему часть атмосферы, та ее часть, которая вступает в непосредственные химические взаимодействия с остальными фазовыми оболочками земной коры. Высота этой доступной нам части атмосферы несомненно не превышает 30 килом. Возможно, что вещество выше лежащих слоев совершенно выходит из общего обмена земли и никогда не возвращается на земную поверхность. Даже вещество верхних слоев этой 30 километровой оболочки вероятно слабо участвует в циркуляции газов.

Главная масса атмосферы—80% по весу ее—сосредоточена в нижних 10.5 километрах (тропосфере) и составляет по весу  $1.3 - 1.6 \cdot 10^{-2}$  % той части земной коры, которая имеет значение в минералогических процессах (на глубину 20—25 килом.). Несомненно для этих процессов значение атмосферы гораздо больше, чем это можно было бы ждать по тому малому влиянию, какое она имеет на массу земли. Слой газов первых 10 километров от земной поверхности является по весу  $1 \cdot 10^{-50}$  % веса земли. Значение атмосферы еще более увеличивается, благодаря ее составу, богатству свободным кислородом (§ 26).

**25.** В атмосфере мы можем различать *термодинамические* и *химические* оболочки.

Термодинамических оболочек можно различать по крайней мере две: нижнюю — *тропосферу* высотой в 10.5 километров — и верхнюю — *стратосферу*, верхняя граница которой неясна.

Тропосфера термодинамически принадлежит к одной и той же оболочке, как и верхняя часть гидросферы (§ 27) и литосферы (кора выветри-

ванья—§ 29). В ней температура и давление те же самые, в каких мы обычно живем. Она находится в тесной зависимости от жидкой и твердой оболочек земли, и газы, ее составляющие, вертикально постоянно перемещаются вверх и вниз.

Стратосфера не зависит от твердой и жидкой оболочек земли. Это область свободной атмосферы метеорологов. Она обладает, повидимому, очень низкой постоянной температурой и очень низким давлением. Давление быстро уменьшается по мере удаления от поверхности—твердой и жидкой—земли, оно в нижних ее слоях не достигает 100 мм. Температура ее, повидимому, меняется только в вертикальном направлении, переходя в холодную температуру междупланетного пространства.

Нельзя сомневаться, что эта разреженная область газов—их молекул, ионов и осколков атомов (электронов), представляет термодинамическую среду, резко отличную от той, которую мы имеем на земной поверхности.

**26.** С химической точки зрения мы имеем в атмосфере несколько—не меньше четырех—различных *химических оболочек*.

В общем химический их состав довольно прост, если взять главные составные их части. Нижняя, наиболее нам известная—наша обычная атмосфера (вся тропосфера)—является *азотной* или *азотнокислородной* оболочкой. Ее валовой состав по Ледюку выразится:

	по весу	по объему
Азот . . . . .	75.5	78.06
Кислород . . . . .	23.2	21.0
Аргон . . . . .	1.3	0.93

По весу она захватывает почти целиком все газы атмосферы и простирается до высоты 70—110 километров <sup>1)</sup>.

Верхние слои нам только начинают быть известными. Повидимому, мы имеем перерыв в физических свойствах атмосферы, на значение которого обратил впервые внимание Вегенер (1911), на высоте 200 километров.

Все как будто указывает, что на высоте 100—200 километров вместо азота преобладает или играет очень видную роль *гелий*. Выше наблюдается *водородная оболочка* (ср. § 33) <sup>2)</sup>.

Как меняется ее состав выше мы не знаем. Эта область явлений только начинает изучаться, и сейчас мы не имеем о ней сколько-нибудь точных и неопровержимых данных.

<sup>1)</sup> Очень возможно, что выше 70 кислород отходит на задний план—и мы имеем чистую азотную оболочку, богатую гелием.

<sup>2)</sup> Вегенер предполагал новые неизвестные легкие газы в более высоких частях атмосферы.

**27.** Ниже газообразной оболочки лежит *жидкая оболочка*, та, которая давно нам известна в виде *океанов* и которая получила в последнее время название *гидросферы* (мировой океан). Впервые в конце XVIII стол. гр. К. де Флерье (Comte C. Claret de Fleurieu 1738—1810) выдвинул представление об едином мировом океане, а в XIX Э. Зюсс (E. Süss 1831—1910) утвердил понятие гидросферы.

В отличие от газообразной оболочки она не охватывает сплошь весь земной шар а образует оболочку перерывчатую. Однако, ее характер как оболочки ясен: 1) п. ч. она охватывает большую часть земного шара и 2) она геологически является меняющейся по времени и пространству, местами занимая большую, временами меньшую поверхность земного шара. Возможно, что были геологические эпохи, когда она более приближалась к сплошной оболочке, чем в эпоху нами переживаемую.

В настоящее время отношение между морем и сушей в среднем для всей земной поверхности может быть выражено как 70.8% моря и 29.2% суши. Но это выражение не дает нам ясного впечатления о характере явления, т. к. море и суша распределены неравномерно. При нашем обычном делении на южное и северное полушария мы видим еще более резкое преобладание океана в южном полушарии: в северном полушарии водная поверхность занимает 61%, а в южном 81%. Но и это деление не отвечает всецело действительности; можно разделить землю на два полушария так, что в одном будет 53% моря, в другом 91%<sup>1)</sup>. Мы видим т. о., что всегда поверхность гидросферы больше, чем поверхность суши. Это еще больше подчеркивает значение океанов, как водной оболочки планеты.

Этот характер выдерживается и при рассмотрении распределения моря и суши по широтам. Суша преобладает только в одном поясе, между 60—70° с. ш., в то же самое время между 50—60° ю. ш. находится почти сплошь свободная водная поверхность.

В связи с таким распределением суши и моря, можно различать океаны (89% поверхности гидросферы) и моря, вдающиеся или окружающие сушу (11% поверхности гидросферы<sup>2)</sup>).

Несомненно гидросфера на этом не кончается. Она проникает сушу, занимая в ней значительные площади в виде озер, рек, прудов, проникая все породы в виде грунтовых и артезианских вод. В общем жидкая вода и в верхней части литосферы играет огромную роль, резко отли-

<sup>1)</sup> Ось этого деления не совпадает конечно с земной осью. Она выходит на севере на о. Дизо ок. Луары, на юге к востоку от Новой Зеландии (Belot).

<sup>2)</sup> По Шокальскому (1917) средиземные моря 9% и крайние моря 2%.

чая ее от нижних ее частей (§ 29). Но количество всей пресной воды, проникающей сушу, ничтожно по сравнению с весом воды гидросферы. Оно не достигает и  $2 \cdot 10^{-2} \%$ .

Мощность гидросферы около  $3.8 \pm 0.1$  километров <sup>1)</sup>, при чем для разных океанов она выражается (по Шокальскому):

Атлантический океан . . . .	3,86	кил.
Индийский . . . . .	3,93	»
Тихий . . . . .	4,10	»

Оболочка эта очень неравномерна, что может быть видно из следующих чисел:

Глубины от 0 — 200 м. . . . .	8,4%	Материковая отмель.
200 — 2000 м. . . . .	9,3%	Материковый склон.
2000 — 6000 м. . . . .	80,8%	Ложе мирового океана.
6000 — 10000 м. . . . .	1,5%	Глубокие впадины.

Отсюда мы видим, что глубины от 2 до 6 километров занимают 80,8% океанической поверхности, т. е. 57,2% всей поверхности нашей планеты.

Отдельные глубины океана, занимающие небольшие площади, значительно выходят за пределы этих средних глубин от 2 до 6 кил. Самая большая глубина, до сих пор наблюдавшаяся, достигает 9,79 килом. (на востокъ от о. Минданао, найдена в 1912 году германским судном Planet).

Гидросфера с термодинамической точки зрения является одной оболочкой; она принадлежит, вместе с тропосферой, к одной и той же верхней термодинамической оболочке, к коре выветривания.

Точно так же к одной оболочке она должна быть отнесена и с химической точки зрения. Это водная или кислородно-водородная оболочка. Эти два элемента в ней резко преобладают.

Кислород 85,8	} 96,5 (по Клерку).
Водород 10,7	

Из других элементов только хлор (2,1%) и натрий (1,1%) присутствуют в заметных количествах, хотя в гидросфере сейчас констатировано присутствие более 30 элементов, и вероятно находится еще до 10 не найденных элементов (всего до 40). Четыре элемента—кислород, водород, хлор и натрий составляют 99,7% по весу гидросферы.

<sup>1)</sup> Число, полученное Коссина (1919), 3,7. Оно близко к исчислению А. Тилло (1889). Меррей (J. Murray 1841—1914) исчислял ее в 4,0 кил., Карстен в 3,65.

**28.** Твердая оболочка земного шара—*литосфера* содержит почти все известные нам минералы и является главной областью химических реакций земли.

К ней принадлежит вся суша, и на ней лежит гидросфера. Она является сплошной оболочкой земли.

Объем всей суши, поднимающейся от уровня океана, незначителен по сравнению с объемом океана. Объем океана в 12.7 раз больше (по Шокальскому) <sup>1)</sup> объема этой суши, средняя высота которой равна по Шокальскому (1917) 900 метрам <sup>2)</sup>.

Вниз граница литосферы едва-ли далеко переходит за пределы тех 25 километров, которые изучаются в минералогии, т. к. по видимому мы встречаем ниже ее новую жидкую или полужидкую оболочку, состоящую из расплавленных масс иного состава, т. наз. *барисферу* (§ 30).

Неясность наших знаний в этой области заставляет очень осторожно относиться к этим определениям. Практически вошло в употребление определение пределов литосферы 16 километрами, и эта величина принята для всех исчислений ее химического состава.

В толще шестнадцати—двадцати пяти километров для литосферы выражены очень резко и термодинамические, и химические оболочки.

**29.** Литосфера резко распадается на три различных *термодинамических* оболочки.

Верхняя ее часть вместе со всей гидросферой (§ 27) и с тропосферой (§ 25) образует первую (I) термодинамическую оболочку—*кору выветривания*, характеризующуюся низкой температурой и низким давлением. Ниже ее лежит II термодинамическая оболочка, *область метаморфизма*, характеризующаяся давлением, недостаточным для перевода твердых тел земли в пластическое состояние, и все повышающейся температурой, достигающей сотен градусов. Ниже идет III термодинамическая оболочка—*область магматическая*—область высоких температур и высоких давлений.

*Область выветривания*, температура которой лежит в пределах колебаний, наблюдаемых на земной поверхности <sup>3)</sup>, характеризуется невысо-

<sup>1)</sup> Для определения объема суши Шокальский принял числа Вагнера (1895) для ее средней высоты в 700 метров над уровнем океана. В действительности—принимая более вероятное число в 900 м.—это отношение будет значительно меньше.

<sup>2)</sup> Увеличение произошло вследствие оказавшейся очень большой высоты Антарктического материка. Число требует проверки.

<sup>3)</sup> Максимальная температура, наблюдавшаяся на земной поверхности для воздуха, достигала 69.8° С, минимальная—56.2° С, не считая температур, связанных с процессами других термодинамических оболочек, хотя и наблюдавшихся на земной поверхности, напр., температура продуктов вулканов или терм.

ким давлением. Только в некоторых случаях она достигает нескольких атмосфер—напр., на дне гидросферы. Нижнюю границу коры выветривания представляет так называемая *кислородная поверхность*, разделяющая области земли, где находится и где отсутствует свободный кислород. Пользуясь этим признаком, все значение которого выясняется на каждом шагу при изучении истории минералов, ее пределы могут быть определены в среднем от 0,5—0,8 километров (на суше) до 4—4,5 километров (в гидросфере). Мы увидим, что химически область выветривания резко отличается от всех других областей земной коры, но она отличается и по физическому состоянию наблюдаемой в ней материи. Как правильно отметил талантливый, рано умерший австрийский минералог Корну (F. Cornu. 1882—1909), только в этой области находятся коллоидальные системы и аморфные твердые тела. Мы знаем сейчас, что коллоидальные системы являются своеобразными смесями твердых (кристаллических) молекул с жидкими, а аморфные тела образованы тончайшей смесью мелких кристаллических образований<sup>1)</sup>. И те, и другие могут существовать лишь в определенных термодинамических полях с низкой температурой и низким давлением.

Вторая термодинамическая оболочка—*область метаморфизма*—тесно связана с циркуляцией воды. Этим определяется ее нижняя граница: она лежит там, где пластичность вещества недостаточна для превращения всякого твердого тела в текучее, и где в твердом теле могут еще существовать свободные, незаполненные им, пространства. Эта граница проходит на 6—10 километров от земной поверхности, при чем, судя по работам Ф. Адамса, более вероятно последняя цифра и м. б. даже она должна быть еще более увеличена. Температура быстро повышается по мере углубления, и на глубине немногих километров мы имеем дело с температурой выше 100° С. В этой второй термодинамической оболочке мы должны повидимому резко отличать две области—*верхнюю и нижнюю*. Это различие проявляется иногда очень резко. В верхней, которая ближе к коре выветривания, температура не настолько высока, чтобы не могли существовать водные растворы, и в связи с этим мы имеем здесь резкое проявление их свойств. В нижней—свойства обычных водных растворов отходят на второй план<sup>2)</sup>.

Уже в этой нижней области мы находимся в области явлений нам чуждых, т. к. тут химические реакции идут под сильными давлениями. На 1 километр давление увеличивается почти на 250 атмосфер, т. что

<sup>1)</sup> Существование однородных аморфных тел, твердых, отличных от кристаллов—все еще не может считаться доказанным.

<sup>2)</sup> В связи с этим К. Ван-Хайс верхнюю часть называет областью цементации.

на глубине 10 километров оно исчезает в 2500 атмосфер. Одновременно увеличивается температура, и в следующей *магматической* оболочке мы имеем дело с веществом, в значительной мере потерявшим свойства твердого тела, с веществом текучим, м. б. полужидким, переполненным газами. И химические, и физические, и механические свойства этих средин являются нам чуждыми и мало известными—мы не имеем достаточного количества данных для конкретных научных заключений.

От этой магматической оболочки мы повидимому непосредственно переходим в нижнюю часть земной коры, м. б. еще более потерявшую свойства твердого тела.

**30.** В тесной связи с этими термодинамическими оболочками литосфера распадается и на три различных *химических* оболочки. К сожалению, эта химическая их характеристика не может быть сделана с большою точностью и определенностью, благодаря современным неполным фактическим данным.

Верхняя химическая оболочка охватывает кору выветривания и верхнюю метаморфическую оболочку. Она характеризуется тем влиянием, какое имеет в ней свободный кислород, вода, соединения углерода. Это область живого вещества и продуктов его изменения. К сожалению, мы не можем для нее дать ясного выражения ее состава в ее химических элементах. Повидимому ее можно разбить на две химические оболочки, довольно точно совпадающие с корой выветривания и верхней метаморфической оболочкой. *Взятую в целом ее можно назвать осадочной оболочкой*, т. к. механические и химические осадки водного происхождения играют первенствующую роль в ее строении. Богата O, Si, Al, H, C, Ca...

Вторая промежуточная оболочка захватывает нижнюю часть метаморфической оболочки и верхнюю часть магматической. В ней резко преобладают (составляют 99% по весу) O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, H. В общем ее состав почти отвечает среднему составу земной коры. Она по весу составляет главную часть массы земной коры; поэтому осадочная оболочка мало сказывается в валовом составе земной коры (на глубину 16 км.), который дан ниже (§ 35). *Эту оболочку можно назвать гранитной*—как это делает из других соображений Дэли. Это название дано по той обычной горной породе—граниту, состав которого близок к среднему составу земной коры, и который преобладает среди других массивных пород.

Мы имеем несомненно ниже ее—в магматической оболочке—третью химическую оболочку, характеризующуюся значительным увеличением количества Mg и Fe, резким уменьшением Si, Al и д. б. остальных металлов, характерных для гранитной оболочки. Количество SiO<sub>2</sub> в этой оболочке не превышает 40-45%, тогда как в гранитной оно достигает

60-70%. Состав ее нам точно неизвестен. Она начинается на глубине 15-20 килом. *Эту оболочку* — согласно Дэли — *можно назвать базальтовой оболочкой* по той породе, базальту, которая является как бы наиболее обычным продуктом отвечающей ей магмы.

Очень возможно, что ниже ее, даже не достигая изостатической поверхности (§ 32), находится химическая область, бедная кислородом и чрезвычайно обогащенная железом (м. б. никкелем?) и отчасти магнием, м. б. составляющая переход к той металлической оболочке, которая — по некоторым данным — м. б. составляет внутренние, ближайшие к земной коре слои нашей планеты. Это т. наз. *барисфера* некоторых авторов. Изучение метеоритов и некоторых форм самородных металлов заставляет нас считаться с этой возможностью. Но нельзя считать существование такой оболочки доказанным; оно лишь очень вероятно.

Из высокого удельного веса земли ясно, что в более глубоких слоях земной коры и ниже изостатической поверхности в земном ядре мы должны встретиться с преобладанием относительно более тяжелых элементов, чем это видим в земной коре (напр., таких как железо).

**31.** Нельзя не обратить внимания еще на одно явление, которое тоже проявляется на земной поверхности в виде оболочки, не подходит целиком ни к фазовым, ни к термодинамическим, ни к химическим оболочкам, но, тем не менее, играет огромную роль в истории земной коры и в частности в явлениях, изучаемых в минералогии.

Явлением этим надо считать *живое вещество*<sup>1)</sup>. Живое вещество тоже распространено концентрически в земной коре. Область, им занятая, образует в земном шаре оболочку, которую мы называем *биосферой*. Эта биосфера охватывает часть литосферы и атмосферы и всю гидросферу. Термодинамически и химически область ее определяется очень точно: к ней принадлежит первая термодинамическая оболочка (тропосфера, гидросфера, кора выветривания) и три химических оболочки (азотно-кислородная, водная и часть осадочной).

Живое вещество имеет огромное значение в химической истории земной коры. На каждом шагу мы будем сталкиваться с его ролью при образовании минералов. Роль эта очень характерна: живое вещество является источником энергии, на счет которой идут природные химические реакции, т. е. образование минералов. Оно собирает энергию солнца и переводит ее в энергию химическую. Оно т. о. является своеобразным носителем и аккумулятором космической энергии. В химических равновесиях, наблюдаемых в природе, в тех случаях, когда оно при-

---

<sup>1)</sup> Под именем живого вещества мы будем подразумевать совокупность живых организмов, сведенных к их весу, составу и энергии.

нимает участие, оно должно стоять совершенно отдельно от других параметров — температуры, давления; оно нередко резко меняет ход химических процессов.

Живое вещество образует тонкие пленки на земной поверхности, нигде не покрывая ее сплошным покровом, но в то же самое время всюду рассеянное в виде отдельных неделимых и особой стремится захватить все пространство, находясь в непрерывном движении.

Пределы его нахождения постепенно расширяются в связи с ростом человеческой культуры. Сейчас область, куда достигает живое вещество, хотя бы в единичных представителях, представляет сплошную оболочку, облегающую землю, мощностью более 40 километров, но в этой оболочке, главная масса живого вещества сосредоточена в очень узком поясе. В атмосфере только изредка оно подымается выше области распространения пыли над сушей (пылевой атмосферы), т. е. 5 килом. В гидросфере главная его масса сосредоточена в верхнем ее слое в 400 метров (куда достигает солнечный луч), хотя вся гидросфера пропитана жизнью и является главным ееместилищем. Не будет ошибкой считать всю гидросферу, т. е. водную оболочку, в среднем в 3.7 — 4 километра, за посетительницу жизни. В литосфере живое вещество сосредоточено узкой пленкой в немного метров толщиной, являясь более мощным только в водных бассейнах. Нижняя граница живого (в виде микробов) нам в литосфере неясна.

Т. о. мы видим чрезвычайную связь живого с гидросферой и вообще с водой. Этому отвечает и состав организмов, заключающих 60—99.7% по весу воды.

**32.** Сводя все вышесказанное раньше, строение земной коры можно выразить следующей схемой (помещенной на стр. 40-й).

**33.** Деление земной коры на ряд оболочек проникло в науку медленно и одновременно с разных сторон. Трудно сейчас сказать, кто первый дал ясное представление об этом явлении. Несомненно в физической географии и геологии была раньше всего, еще в древности, выделена газовая оболочка атмосферы. Уже ученые первой половины XIX столетия, такие, как Филлипс (W. Phillips 1773—1828), Де-Ля-Бич (H. De la Beche 1796—1835), фон Гумбольдт (A. v. Humboldt 1769—1839), Эли де-Бомон (I. Elie de Beaumont 1798—1874), имели ясное понятие о гидросфере и литосфере, хотя названия такого и не употребляли. Название гидросфера и литосфера даны Э. Зюссом и вошли в жизнь после выхода его *Antlitz der Erde*. Однако, отдельные ученые XVIII века, напр., Бюффон, имели очень яркое представление о сути наблюдаемого явления. Стратосфера и тропосфера выделены лишь в XX веке, и наиболее полно явления выражены Вегенером и затем Джинсом. В минералогии почти

Ф а з о в ы е о б о л о ч к и.	Т е р м о д и н а м и ч е с к и е о б о л о ч к и.	Х и м и ч е с к и е о б о л о ч к и.
I. Атмосфера (Газо-образная) + 600 км.	1. Стратосфера +10.5—600? км.	A. Водородная? 200—? км.
II. Гидросфера (Жидкая) — 3.7 км.	2а. Тропосфера +10.5 км.	B. Гелиевая? 110—220? —200?
	III. Литосфера (Твердая) — 16—25 км.	2б. Гидросфера —3.7 км.
2в. Кора выветривания —0.8 км.		C. Азотно-кислородная 0—70 км.
3а. Верхняя метаморфическая до —3—4 км.?		D. Водная —3.7.
IV. Магмосфера (Жидкая?).	3б. Нижняя метаморфическая до —6.5—10 км.?	E. Осадочная оболочка (верхняя и нижняя) до —3—4 км.?
	4. Магматическая до —16—25 км.?	F. Гранитная до 16 км.?
		G. Базальтовая.
	Изостатическая поверхность 100—125 км.?	H. Металлическая?

одновременно высказаны аналогичные идеи Л. Де-Лонэ, И. Лукашевичем, К. Ван-Хайсом, Ф. Клерком и др. Независимо от них еще в самом начале 1890-х годов те же идеи введены и мною в преподавание минералогии Московского Университета.

Главнейшая литература, где можно найти дальнейшие указания:

Van Hise. Treatise on metamorph. W. 1904 (Monographs of U. St. Geol. Survey). F. Clarke. Data of geochemistry. 4-th ed. W. 1920 (в Bulletin of U. S. Geol. Survey), В. Вернадский. Опыт описат. минерал. I. П. 1908—1914. Новая работа Дэли, сводящая его прежние работы R. A. Daly. Igneous rocks a. their origin. N. Y. 1914 (выходит в 1920—1921 году русский перевод). E. Suess. Antlitz d. Erde. I—IV. W. 1882—1910 (Французский перевод E. de Margerie с дополнениями: La face de la terre. I—III. P. 1897—1918). Хорошие указания дают современные курсы геологии, такие, как, например, E. Haug. Traité de géologie. I. 2-me éd. P. 1915 (есть русский перевод первого тома с дополнениями ак. А. П. Павлова. М. 1916, второе изд. 1922), L. Pirsson a. C. Schuchert. A textbook of geology. I—II. N. 4. 1915.

Работы Гиббса (§ 19). См. W. Gibbs. Scientific works. I—II. 1909. Первоначально напечатаны в Transactions of Connecticut Academy of Science.

Для атмосферы см. A. Wegener Thermodynamik d. Atmosphaere. 1913. Его же. Physikalische Zeitschrift. XII. B. 1912. 170 сл. А. Клоковский. Основы метеорологии. I. Од. 1910. W. Trabert. Lehrbuch d. Kosmischen Physik. L. 1911.

Для гидросферы см. O. Krümmel. Handbuch d. Oceanographie. I. L. 1907—1911. L. Hjort a. J. Murray. The depth of the Sea. L. 1913. Ю. Шокальский. Океанография. II. 1917.

Работы F. Cornu (§ 29) см. F. Cornu. Centralbl. f. Min. 1909. 324. Zeitschr. f. prakt. geol. 1909. 81 — прерваны смертью.

## 2. Химический состав земной коры и ее оболочек.

**34.** Основным фактором среды, обуславливающим химические реакции, в ней происходящие, является конечно ее *химический состав*. Определение состава гидросферы теоретически не вызывает больших затруднений, так как она и химически, и термодинамически представляет единое целое. Уже труднее определять состав атмосферы, где мы можем это сделать только для тропосферы.

Гораздо труднее определить состав литосферы в виду того, что она распадается на ряд термодинамических и химических оболочек, далеко не всегда совпадающих друг с другом (§ 32). В сущности мы знаем главным образом состав гранитной ее оболочки и берем его с некоторыми поправками, как средний состав литосферы (до глубины 16 килом.<sup>1)</sup> Ибо предполагая гранитную оболочку, распространенную на 16 километров, ее вес будет резко преобладать над весом гидросферы, тропосферы и осадочной оболочки, и потому внесение состава этих последних очень мало меняет полученные средние числа для всей коры.

Постоянство химического состава гидросферы выяснилось в XIX столетии после работ датского ученого И. Форхгаммера (J. Forchhammer 1794—1865), доказавшего, что отношения между компонентами солевого состава в морской воде остаются почти неизменными и не зависят от того, где мы берем воду. Меняется лишь концентрация морской воды. *Благодаря этому возможно вычислить не только состав гидросферы, но, зная ее*

<sup>1)</sup> Эти 16 километров приблизительно отвечают всей совокупности слоев, нами реально наблюдаемых, т. е. минералогически непосредственно доступных. Мощность этих слоев в действительности больше (20—25 кил. см. § 20). Цифра 16 получена потому, что американские и английские ученые относили все свои исчисления к другим мерам—10 милям, приблизительно равным 16 кил.

вес, также и количество захваченных гидросферой химических элементов. Точно также можно было вычислить состав и вес тропосферы, составляющей по весу  $\frac{4}{5}$  атмосферы. Зная вес всей земной коры, можно было определить процентный состав гидросферы и тропосферы по отношению к изучаемой части земной коры (16 килом.).

Гораздо труднее вычислить состав литосферы. Здесь мы встречаемся с разными породами, часто весьма различного химического состава, например, на земной поверхности кругом нас наблюдаются известняки— $\text{CaCO}_3$ , песчаники— $\text{SiO}_2$ , глины— $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и т. д. Их мощность и распространение в разных местах различны. И в одной и той же местности в вертикальном ее разрезе они сменяют друг друга. Вместе с ними наблюдается нередко проникающие их массивные породы очень различного состава. На земную поверхность выступают и метаморфические, и вулканические, и плутонические породы.

Таким образом для того, чтобы выявить химический состав литосферы, надо для каждой площади земной поверхности знать:

1) Геологическое и петрографическое строение данного участка земной коры до глубины 16 километров и 2) химический состав слагающих его пород. Затем, суммируя полученные результаты, взять ту среднюю величину, которая отвечает среднему химическому составу литосферы.

Очевидно такая задача может быть сделана только вековой долгой работой поколений ученых и она может быть воспроизведена только в том случае, если возможно подметить правильности в строении разных участков земной коры. Это действительно было подмечено, и на этом основании можно было составить таблицу валового химического состава земной коры, имеющую огромное значение не только в минералогии, но в геологии и геохимии.

Таблица, помещенная в § 35, была достигнута вековой работой. Первые числа для немногих элементов были получены У. Филлипсом в 1817 году, затем улучшены в 1830-х годах Де-Ля-Бичем, в 1840-х годах Эли де-Бомоном, и, наконец, в 1880-х годах сведены воедино американцем Ф. Клерком и позже в 1890-х норвежским ученым И. Фохтом. Особенно велика заслуга Ф. Клерка, систематически направившего для исчисления этой таблицы работу химической лаборатории Геологического Комитета Соединенных Штатов в Вашингтоне. В основу ее положено несколько тысяч полных химических анализов. Приведенная в § 35 таблица изменена, дополнена и исправлена на основании всей совокупности новых данных и отличается, поэтому, от последних исчислений Клерка, сделанных в 1920 году. Числа Клерка подвергнуты критическому пересмотру <sup>2)</sup>.

<sup>2)</sup> См. литературные данные—§ 49.

Мы сейчас можем считать эту таблицу в значительной мере проверенной эмпирически, благодаря росту нашего знания. За 30 слишком лет, после первой таблицы Клерка 1889 года, она постепенно исправлялась, и новые исправления для наилучше изученных элементов давали все меньшие и меньшие для нее изменения. Но она получила и другие проверки. Оказалось, что независимые исчисления, исходящие из значительных участков земной коры (например, значительных частей Великобритании, Зап. Европы, Северо-Американских Соединенных Штатов), давали числа для среднего состава литосферы, колебания которых не меняют общей картины. Здесь повторилось то же явление, какое наблюдается для состава тропосферы или гидросферы. Состав воздуха, где бы он ни был взят, в общем дает одни и те же количественные отношения для химических элементов. Состав воды разных океанов и разных глубин оказывается и качественно, и количественно неизменным. Точно также и качественно, и количественно близок состав участков литосферы, взят ли он в Европе или в Америке. Но здесь колебания больше, т. к. в некоторых участках (напр., на островах среди океана) больше сказывается влияние глубинных слоев земной коры—как это показывают вычисления Г. Уошингтона (1920). Однако в общем можно думать, что полученные сейчас числа, неизбежно все еще очень неполные, благодаря огромной недостаточности нашего геологического знания, едва ли очень сильно изменятся при дальнейшем их исправлении.

**35. Таблица валового элементарного химического состава земной коры \*) на глубину до 16 километров.**

	Атомное число.	Атом. вес.	% литосферы (93% зем- ной коры).	% гидросфе- ры (7% зем- ной коры)	% тро- посферы. (0.03 зем. коры.	% земной. коры.	Декада для земн. коры.
*1. Азот . . . . . N	7	14.01	—	0.37	75.7	$4.10^{-2}$	IV
2. Актиний . . . . . Ac	89	226	—	—	—	—	X
*3. Алюминий . . . . . Al	13	27.1	7.85	$\times 10^{-5}$	—	7.27	II
4. Аргон . . . . . Ar	18	39.88	—	—	$9.10^{-1}$	$4.10^{-4}$	VI
*5. Барий . . . . . Ba	56	137.37	—	—	—	$8.10^{-2}$	IV

\*) В этой таблице для каждого атомного числа указан только один самый обычный изотоп; атомный вес взят средний, наблюдаемый для обычного природного нахождения элемента.

	Атомное число.	Атом. вес.	% литосферы (93% земной коры).	% гидросфе- ры (7% зем- ной коры).	% тро- посферы. (0.03% з. коры).	% земной. коры.	Декада для земн. коры.
6. Бериллий . . . . . Be	4	9.1	—	—	—	$\times 10^{-3}$	V
7. Бор . . . . . B	5	11.0	—	$2 \cdot 10^{-5}$	—	$1 \cdot 10^{-2}$	IV
*8. Бром . . . . . Br	35	79.92	—	$1.5 \cdot 10^{-2}$	—	$1 \cdot 10^{-2}$	IV
9. Ванадий . . . . . V	23	51.0	—	—	—	$\times 10^{-2}$	IV
10. Висмут . . . . . Bi	83	209.02	—	—	—	$\times 10^{-6}$	VIII
*11. Водород . . . . . H	1	1.008	0.22?	10.67	—	1.0	II
12. Вольфрам . . . . . W	74	184.0	—	—	—	$1 \cdot 10^{-4}$	VI
13. Гадолиний . . . . . Gd	64	157.3	—	—	—	—	VIII
14. Галлий . . . . . Ga	31	69.9	—	—	—	—	IX
15. Гелий . . . . . He	2	4.0	—	—	$n \cdot 10^{-6}$	—	IX
16. Германий . . . . . Ge	32	72.5	—	—	—	—	IX
17. Диспрозий . . . . . Dy	66	162.5	—	—	—	—	VIII
18. Европий . . . . . Eu	63	152.0	—	—	—	—	IX
*19. Железо . . . . . Fe	26	55.84	4.50	$1.5 \cdot 10^{-4}$	—	4.16	II
20. Золото . . . . . Au	79	197.2	—	$1.2 \cdot 10^{-6}$	—	$5 \cdot 10^{-7}$	IX
21. Индий . . . . . In	49	114.8	—	—	—	—	IX
22. Иридий . . . . . Ir	77	193.1	—	—	—	—	X
23. Иттербий . . . . . Yb	70	173.5	—	—	—	—	IX
24. Иттрий . . . . . Y	39	88.7	—	—	—	$1 \cdot 10^{-3}$	V
25. Иод . . . . . I	53	126.92	—	$1.5 \cdot 10^{-3}$	—	$1 \cdot 10^{-4}$	VI
26. Кадмий . . . . . Cd	48	112.40	—	—	—	$\times 10^{-4}$	VI
*27. Калий . . . . . K	19	39.10	2.46	$4 \cdot 10^{-2}$	—	2.27	II
*28. Кальций . . . . . Ca	20	40.07	3.47	$5 \cdot 10^{-2}$	—	3.20	II
29. Кельтий . . . . . Cs	72	(178)	—	—	—	—	X
*30. Кислород . . . . . O	8	16.0	47.33	85.8	—	49.66	I
31. Кобальт . . . . . Co	27	58.97	—	—	—	$\times 10^{-3}$	V

	АТОМНОЕ число.	Атом. вес.	% литосферы (93% земной коры).	% гидросфе- ры (7% зем- ной коры).	% тро- посферы. (0.03% а. коры).	% земной. коры.	Декада для земн. коры.
*32. Кремний . . . . . Si	14	28.3	27.74	$n.10^{-4}$	—	25.69	I
33. Криптон . . . . . Kr	36	82.92	—	—	$1.4 \cdot 10^{-5}$	—	X
34. Ксенон . . . . . Xe	54	130.2	—	—	$2.6 \cdot 10^{-6}$	—	X
35. Лантан . . . . . La	57	139.0	—	—	—	$x.10^{-4}$	VI
36. Литий . . . . . Li	3	6.94	—	$6.10^{-6}$	—	$1.10^{-2}$	IV
37. Лютеций . . . . . Lu	71	175.0	—	—	—	—	X
38. Магний . . . . . Mg	12	24.32	2.24	$1.4 \cdot 10^{-1}$	—	2.07	II
*39. Марганец . . . . . Mn	25	54.93	—	—	—	$9.10^{-2}$	IV
40. Молибден . . . . . Mo	42	96.0	—	—	—	$x.10^{-4}$	VI
41. Мышьяк . . . . . As	33	74.96	—	$1.10^{-6}$	—	$x.10^{-4}$	VI
42. Медь . . . . . Cu	29	63.57	—	$x.10^{-6}$	—	$1.10^{-2}$	IV
*43. Натрий . . . . . Na	11	23.00	2.46	1.14	—	2.35	II
44. Неодимий . . . . . Nd	60	144.3	—	—	—	$x.10^{-5}$	VII
45. Неон . . . . . Ne	10	20.0	—	—	$1.2 \cdot 10^{-3}$	—	X
46. Никкель . . . . . Ni	28	58.68	—	—	—	$x.10^{-2}$	IV
47. Ниоб . . . . . Nb	41	93.5	—	—	—	—	VII
48. Нитрон . . . . . Nt	86	222.0	—	—	—	—	X
49. Олово . . . . . Sn	50	118.7	—	—	—	$x.10^{-3}$	V
50. Осмий . . . . . Os	76	190.9	—	—	—	—	X
51. Палладий . . . . . Pd	46	106.7	—	—	—	—	IX
52. Платина . . . . . Pt	78	195.2	—	—	—	$x.10^{-7}$	IX
53. Полоний . . . . . Po	84	(210.0)	—	—	—	—	X
54. Празеодимий . . . . . Pr	59	140.9	—	—	—	$x.10^{-6}$	VIII
55. Протоактиний . . . . . Pa	91	(230)	—	—	—	—	X
56. Радий . . . . . Ra	88	226.0	—	—	—	$n.10^{-10}$	XII <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> См. § 37.

	Атомное число.	Атом. вес.	% литосферы (93% земной коры).	% гидросфе- ры (7% зем- ной коры).	% тро- посферы (0.03% з. коры).	% земной. коры.	Декада для земн. коры.
57. Родий . . . . . Rh	45	102.9	—	—	—	—	X
58. Ртуть . . . . . Hg	80	200.6	—	—	—	$x \cdot 10^{-5}$	VII
*59. Рубидий . . . . . Rb	37	85.45	—	$1.5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-2}$	IV
60. Рутений . . . . . Ru	44	101.7	—	—	—	—	X
61. Самарий . . . . . Sm	62	150.4	—	—	—	$x \cdot 10^{-5}$	VII
62. Свинец . . . . . Pb	82	207.20	—	—	—	$2 \cdot 10^{-3}$	V
63. Селен . . . . . Se	34	79.2	—	—	—	$x \cdot 10^{-6}$	VIII
*64. Сера . . . . . S	16	32.06	—	$9 \cdot 10^{-2}$	—	$1.5 \cdot 10^{-1}$	III
65. Серебро . . . . . Ag	47	107.88	—	$1.10^{-4?}$	—	$1 \cdot 10^{-5}$	VII
66. Скандий . . . . . Sc	21	45.1	—	—	—	$x \cdot 10^{-5}$	IX
*67. Стронций . . . . . Sr	38	87.63	—	—	—	$2 \cdot 10^{-2}$	IV
68. Сурьма . . . . . Sb	51	120.2	—	—	—	$x \cdot 10^{-5}$	VII
69. Таллий . . . . . Tl	81	204.0	—	—	—	$x \cdot 10^{-6}$	VIII
70. Тантал . . . . . Ta	73	181.5	—	—	—	$1 \cdot 10^{-4}$	VI
71. Теллур . . . . . Te	52	127.5	—	—	—	$1 \cdot 10^{-6}$	VIII
72. Тербий . . . . . Tb	65	159.2	—	—	—	—	X
*73. Титан . . . . . Ti	22	48.1	—	—	—	$6 \cdot 10^{-1}$	III
74. Торий . . . . . Th	90	232.15	—	—	—	$x \cdot 10^{-4}$	VI
75. Тулий . . . . . Tm	69	168.5	—	—	—	—	X
*76. Углерод . . . . . C	6	12.00	—	$3.5 \cdot 10^{-3}$	—	$4 \cdot 10^{-1}$	III
77. Уран . . . . . U	92	238.2	—	—	—	$x \cdot 10^{-2}$ $x \cdot 10^{-3}$	IV—V
*78. Фосфор . . . . . P	15	31.04	0.12	$x \cdot 10^{-4}$ $x \cdot 10^{-5}$	—	$1.5 \cdot 10^{-8}$	III
*79. Фтор . . . . . F	9	19.0	—	$3 \cdot 10^{-3}$	—	$1 \cdot 10^{-1}$	III
*80. Хлор . . . . . Cl	17	35.00	$6 \cdot 10^{-2}$	2.07	—	$2 \cdot 10^{-1}$	III
81. Холмий . . . . . Ho	67	163.5	—	—	—	—	X
82. Хром . . . . . Cr	24	52.0	—	—	—	$2 \cdot 10^{-2}$	IV

	Атомное число.	Атом. вес.	% литосферы (98% земной коры).	% гидросфе- ры (7% зем- ной коры).	% тро- посферы. (0.03% з. коры).	% земной коры.	Декада для земн. коры.
83. Цезий . . . . . Cs	55	132.81	—	—	—	$x \cdot 10^{-3}$	V
84. Церий . . . . . Ce	58	140.25	—	—	—	$1 \cdot 10^{-3}$	V
85. Цинк . . . . . Zn	30	65.37	$X \cdot 10^{-6}$	—	—	$4 \cdot 10^{-2}$	IV
86. Цирконий . . . . . Zr	40	90.6	—	—	—	$3 \cdot 10^{-2}$	IV
87. Эрбий . . . . . Er	68	167.7	—	—	—	—	VIII

**36.** Как уже указано (§ 34), значение этой таблицы<sup>1)</sup> для литосферы, а, следовательно, для всей коры, основывается на эмпирических данных, указывающих на неизменность состава земной коры в самых различных участках земной коры.

Эта неизменность является результатом двух обстоятельств:

1) Всюду на некоторой, различной, в общем не очень большой глубине мы встречаем одну и ту же свиту горных пород—гранитов и гнейсов, приближающихся по своему составу к обычному граниту. В таком смысле гранитная оболочка не является только теоретическим представлением, но отвечает реально наблюдаемым фактам;

2) Исходя из этих наблюдений, мы предполагаем, что эта гранитная оболочка продолжается и дальше на глубину до 16 километров. Признаки ее заметного замещения другими более основными (базальтовыми) породами существуют, но мы и не вводим на это поправки в числа, т. к. базальтовые породы, повидимому, сильно развиты только глубже 16 километров. Эти массивные—следовательно, главным образом гранитные—породы составляют преобладающую по весу часть земной коры, и их состав в общем будет отвечать ее среднему составу. По исчислению Клерка они составляют 95% по весу всей земной коры, и очевидно влияние остальных—5%—к тому же более легких (осадочных и метаморфических) пород сказывается относительно мало.

<sup>1)</sup> Эта таблица приноровлена так, что количество всех элементов исчисляется равным 100.00, причем, согласно Клерку, количество 63 элементов более редких, за исключением 20 более обычных, принято равным 0.5%. Эти 20 обозначены (\*). Буквой x в дробях обозначены числа, превышающие 1, но точно неизвестные. В X группе находятся многие элементы, распространение которых неизвестно. Все определения состава гидросферы требуют поправки на состав проникающего их живого вещества, не принятого во внимание.

Пользуясь эмпирическими данными можно вычислить средний состав массивных пород. Это было сделано Ф. Клерком и в последнее время на основании более новых данных Г. Уошингтоном (1920). Уошингтон воспользовался имеющимися 8602 анализами всех известных массивных горных пород, из которых он использовал 5179. В совместной новой переработке Клерк и Уошингтон дали (1922) следующие числа:

SiO <sub>2</sub> . . . . .	59.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3.08
FeO . . . . .	3.80
MgO . . . . .	3.49
CaO . . . . .	5.08
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3.84
K <sub>2</sub> O . . . . .	3.13
H <sub>2</sub> O . . . . .	1.14
TiO <sub>2</sub> . . . . .	1.050
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0.299
MnO . . . . .	0.124
CO <sub>2</sub> . . . . .	0.101
ZrO <sub>2</sub> . . . . .	0.039
S . . . . .	0.052
Cl . . . . .	0.048
F . . . . .	0.030
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0.055
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0.026
NiO . . . . .	0.025
BaO . . . . .	0.055
SrO . . . . .	0.022
Li <sub>2</sub> O . . . . .	0.008
(Ce, 4) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0.020
Cn . . . . .	0.010
Zn . . . . .	0.004
Pb . . . . .	0.02
	<hr/>
	100.00

Легко убедиться в ее близости к числам таблицы § 35<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Нельзя не отметить, что все же в этих анализах—а, следовательно, и в принимаемом нами составе земной коры—сказывается не только для земной коры, но и для массивных пород влияние базальтической оболочки Г. В действительности состав чистой гранитной оболочки будет несколько иной.

**37.** Таблица § 35 может быть приведена в более удобный вид, если расположить элементы по *декадам*, т. е. по рядам, приблизительно в 10 раз отличающимися по распространенности. Эти декады для всей земной коры указаны в таблице II римскими цифрами в последнем столбце.

Распределяя элементы по декадам, можно расположить их приблизительно в порядке их относительной распространенности в пределах декады.

Порядок по распространенности.	Доклады химических элементов земной коры. Пределы % количества.		
I	100—10 . . . . .	O, Si . . . . .	= 2 эл.
II	10—10 <sup>0</sup> . . . . .	Al, Fe, Ca, Na, Mg, K, H	7 »
III	10 <sup>0</sup> —10 <sup>-1</sup> . . . . .	Ti, C, Cl, S, P, F . . . . .	6 »
IV	10 <sup>-1</sup> —10 <sup>-2</sup> . . . . .	Mn, Rb, N, Ba, Zn, Zr, Sr, Li, V, Br, Cu, Ni, B, Cr . . . . .	14 »
V	10 <sup>-2</sup> —10 <sup>-3</sup> . . . . .	Sn, Th, U, Cs, Be, Pb, Ce, Co, Y . . . . .	9 »
VI	10 <sup>-3</sup> —10 <sup>-4</sup> . . . . .	As, Ta, A, W, J, Cd . . . . .	6 »
VII	10 <sup>-4</sup> —10 <sup>-5</sup> . . . . .	Mo, La, Sb, Nd, Nb, Ag . . . . .	6 »
VIII	10 <sup>-5</sup> —10 <sup>-6</sup> . . . . .	Se, Pr, Tl, Hg, Te, Bi . . . . .	6 »
IX	10 <sup>-6</sup> —10 <sup>-7</sup> . . . . .	Au, Ge, In, Er, Pt, Pd, Ga, Sc, He . . . . .	9 »
X	10 <sup>-7</sup> и меньше . . . . .	Yt, Rh, Kr, Eu, Ir, Os, Ru, Gd, Sm, Tb, Tu, Dy, Ho, Lu, Ct, Ra, Xe, Ne, Po, Pa, Ac, Nt . . . . .	22 »

**38.** В этой таблице в литосфере не принято во внимание различие в химическом составе осадочной области (E), совпадающей с термодинамической оболочкой 2 б (корой выветривания). Хотя эта область составляет очень небольшую часть доступной нашему изучению земной коры (не более 5%), она химически резко отличается от того среднего состава литосферы, который здесь приведен (главным образом для оболочки F). К сожалению, сейчас очень трудно дать о ней представление по отношению ко всем химическим элементам, так как минералогия и химия оболочки E чрезвычайно мало изучены. Можно лишь указать, что для нее мы имеем по отношению к главным элементам состав, стоящий между гидросферой и теми, числами для литосферы, которые даны в таблице § 35.

Состав этой осадочной оболочки для главных химических элементов может быть представлен из следующей таблицы среднего валового состава 676 осадочных пород, данного Клерком (4% «сланцев», 0.75% песчаников, 0.25% известняков).

SiO <sub>2</sub> . . . . .	58.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	13.11
CaO . . . . .	5.46
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2.91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3.42
K <sub>2</sub> O . . . . .	2.80
FeO . . . . .	0.54
MgO . . . . .	2.55
H <sub>2</sub> O . . . . .	4.30
SO <sub>3</sub> . . . . .	0.52
Cl . . . . .	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0.15
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0.56
CO <sub>2</sub> . . . . .	4.95
	100.00

Несомненно, в этой форме мы имеем только первое приближение, так как в этой оболочке сконцентрированы и некоторые другие химические элементы: как, напр., Ba, Sr, F, C, которые не приняты во внимание <sup>1)</sup>.

**39.** Мы должны помнить, что эти числа дают понятие не о чистых химических элементах. Считая изотопы, количество химических элементов значительно превышает те 87 элементов, которые мы наблюдаем в природе. Очень многие из них являются сложными телами, состоящими из смеси изотопических элементов.

Мы имеем сейчас три разных способа выявления изотопических элементов: 1) непосредственное изучение образования их во время радиоактивного распада элементов ряда урана и тория. U, Th, Pa, Po, Nt, Ra — всегда в природе являются сложными смесями изотопов (ниже № 84—92), 2) изучение положительно заряженных частиц в газообразном состоянии (метод Томсона и Астона) в магнитном поле и 3) разрушение атомов химических элементов под влиянием их бомбардировки быстро движущимися α-частицами (Рузерфорд).

<sup>1)</sup> Эти числа Клерка вызывают сомнения. Для сравнения можно привести наблюдения В. Н. Чирвинского (1917) осадочных пород для Киева, основанные на точных данных: O—52.11; Si 35.91; Al 3.00; Fe 2.45; Ca 3.43; Mg 0.36; Na 0.10; K 0.28; H 0.39; Ti 0.26; P 0.09; S 0.43; Cl—сл. C 1.08—99.89. Мощность 190 сажен.

Все эти явления имеют место не только в наших лабораториях, но наблюдаются в природе. Наши знания могут быть сведены в таблицу земных изотопов <sup>1)</sup>.

Таблица изотопов.

Атомное число.	Атомный вес изотопов.	Количество вероятных изотопов.	Количество установленных изотопов.
3 . . .	Li 6, 7 . . . . .	2	2
4 . . .	B 10, 11 . . . . .	2	2
10 . . .	Ne 20, 22, (21 ?) . . . . .	3	2
12 . . .	Mg 24, 25, 26 . . . . .	3	3
14 . . .	Si 28, 29, (30 ?) . . . . .	3	2
17 . . .	Cl 35, 37, (39 ?) . . . . .	3	2
18 . . .	Ar 40, 36 . . . . .	2	2
19 . . .	K 39, 41 . . . . .	2	2
28 . . .	Ni 60 (58) (56) . . . . .	3	1
35 . . .	Br 79, 81 . . . . .	2	2
36 . . .	Kr 84, 86, 82, 83, 80, 78 . . . . .	6	6
37 . . .	Rb 85, 87 ? . . . . .	2	1
34 . . .	Xe 129, 131, 132, 134, 136 (128, 130 ?) . . . . .	7	5
80 . . .	Hg 202, 204 (197—200) . . . . .	4	2
81 . . .	Tl 204, AcC'' 206, ThC'' 208, RaC'' 210 . . . . .	4	4
82 . . .	Pb 207.2, RaG 206, AcD 206, ThD 208, RaD 210, AcB 210, ThB 212 RaB 214 . . . . .	8	7
83 . . .	Bi 208, RaE 210, AcC 210, ThC 212 RaC 214 . . . . .	5	4
84 . . .	Po 210, AcC' 210, ThC' 212, RaC' 214, AcA 214, ThA 216, RaA 218 . . . . .	7	7
86 . . .	Nt 222, AcEm 218, ThEm 220 . . . . .	3	3
88 . . .	Ra 226, AcX 222, ThX 224, MsTh <sub>1</sub> 228 . . . . .	4	4
89 . . .	Ac 226, MsTh <sub>2</sub> 228 . . . . .	2	2
90 . . .	Th 232.15, RdAc 226, RdTh 228, Io 230, UY 230, UX <sub>1</sub> 234 . . . . .	6	5
91 . . .	Pa 231, UX <sub>2</sub> 234 UZ 236 . . . . .	3	3
92 . . .	U <sub>I</sub> 238.2 U <sub>II</sub> , 234 . . . . .	2	2
		85	77

<sup>1)</sup> Для тех элементов, для которых атомный вес не представляет целых чисел, мы имеем смесь изотопов—напр., Tl, Pb и т. д.

Из этой таблицы мы видим, что из 87 атомных чисел, нам теперь известных, для 24 (т. е. 27.4%) мы уже знаем изотопы. Но это только начало, так как работа здесь в полном разгаре, и надо думать, что это число быстро увеличится<sup>1)</sup>. Считая ныне известные элементы, мы сейчас знаем 138—147 химических элементов<sup>2)</sup>, вместо тех 87, с которыми мы обычно имеем дело.

Отдельные изотопы одного и того же атомного числа различно распространены в земной коре, и очевидно минералог должен принимать это во внимание при изучении химически чистого элемента. Мы знаем уже теперь, что химически чистый свинец, выделенный из обычной свинцовой руды—свинцового блеска—имеет другой атомный вес, т. е. представляет другую смесь изотопов, отвечающих атомному числу № 82, чем химически чистый свинец, выделенный из минерала ториянита. Атомный вес первого равен 207.20—207.15, второго равен 207.7—207.9. И их распространение в природе различно.

Несомненно в ближайшем будущем эти и близкие вопросы приобретут в минералогии огромное значение, — но сейчас мы имеем в этой области чрезвычайно мало точных данных. Работа здесь только что начинается.

Но все же мы должны помнить, что таблица распространенности химических элементов дает представление только о распространении в земной коре родов материи, отвечающей различным атомным числам, а не чистым элементам. Распространение химических элементов, т. е. всех отвечающих этим атомным числам изотопов, дало бы во многом совершенно иную картину, если бы мы могли только ее получить.

Для изучения распространения изотопов приобретает особое значение изучение не весового количества того или иного элемента (изотопа) в земной коре, а количество его атомов. А. Е. Ферман (1912) попытался дать такую таблицу, исходя из обычных атомных весов. Эта таблица приобретает особое значение, когда будут известны количества изотопов.

**40.** С минералогической точки зрения достаточно остановиться на атомных числах уже потому, что с химической точки зрения изотопы одного и того же атомного числа не различимы, следовательно, во время изучаемых в минералогии естественных химических процессов их разделения происходить не будет.

<sup>1)</sup> Так уже сейчас Гаркинс (1921) указывает для железа изотопы 56. 54? 52? Эти указания требуют проверки.

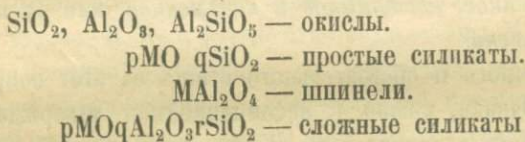
<sup>2)</sup> А принимая количество атомных чисел, несомненно существующих, 143—152.

Рассматривая таблицы распространения химических элементов, мы видим, что немногие химические элементы являются резко преобладающими над всеми остальными. Элементы первой декады:

	Ат. вес.	Ат. число.
O . . . . .	16	8
Si . . . . .	28,29	14

составляют по весу 75,2% всей земной коры. Нельзя не отметить, что такое распространение кислорода и кремния отнюдь не имеет аналогий в известной нам картине нахождения этих элементов в звездных мирах или на солнце. Там и кислород, и кремний отходят на второй план по сравнению, напр., с H, Fe, He, Ca, Na. Иную картину дает и изучение достигающих к нам космических тел—метеоритов, по крайней мере железных (§ 43), и космической пыли. Повидимому и для нашей планеты кислород и кремний характеризуют не химический элементарный состав Земли, а состав земной коры. И здесь мы видим ясное уменьшение их значения для глубинной оболочки G (базальтической)<sup>1)</sup>. Ниже ее идут слои, богатые железом и повидимому еще более бедные кремнием и кислородом.

Еще более резко сказывается такой поверхностный характер явлений для следующего по распространенности элемента—*алюминия* (атомный вес 27.1, атомное число 13). Кислород, кремний, алюминий характерны для земной коры и, вместе взятые, составляют по весу 82,65%, т. е. более  $\frac{5}{6}$  всей земной коры. Эти три элемента находятся здесь в соединениях типа:



(где M—разнообразные металлы—Fe, Mg, Ca, K, Na, также H и т. д.). Эти четыре группы тел составляют вероятно много более  $\frac{9}{10}$  по весу земной коры и химически характеризуют ту среду, в которой идет образование минералов.

Но и это явление не является свойством химического состава нашей планеты, но лишь свойством земной коры.

**41.** Элементы 1-ой и 2-ой декад, вместе взятые, составляют около 98,2% по весу земной коры. Это в огромном большинстве элементы

<sup>1)</sup> Так, напр., для одной из глубинных пород—дунита (§ 70) из Колумбии мы имеем по весу 18·8% Si и 45·3% O (анализ Чатарда).

четных атомных чисел — O, Si, Fe, Ca, Mg. Очевидно и для них надо считать, что такое их нахождение указывает нам свойства земной коры, но не земли.

Из числа остальных химических элементов я остановлюсь еще на двух — на *титане*, распространение которого для нас является неожиданным, и на *углероде*, малое количество которого точно также не отвечает нашим обычным представлениям. Причина большого распространения титана для нас сейчас совершенно неясна, но нельзя не отметить, что титан широко распространен и на солнце, и в небесных мирах.

Углерод же несомненно концентрируется в верхних частях земной оболочки. Уже из исчисления осадочных пород (§ 38) ясно, что количество его здесь, равное 1,24%, значительно превышает то число, какое можно придать для всей земной коры<sup>1)</sup>. Но исчисление его количества в осадочной оболочке несомненно еще меньше его содержания в самой верхней ее части — в биосфере. Мы находимся сами в биосфере, и потому наши обычные представления о значении углерода явно находятся в противоречии с ничтожным средним валовым его содержанием в земной коре.

Четырнадцать элементов — (I—III декады) O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, H, Ti, S, Cl, S и P — составляют по весу около 99,55% веса земной коры и на остальные 73 элемента приходится всего 0,45%.

**42.** Таблица § 35 дает нам представление о химическом составе земной коры, как он наблюдается в настоящее время — т. е. как он сложился в результате долгой геологической истории нашей планеты.

Но неизбежно возникает вопрос: — *представляет ли этот состав нечто законченное, постоянное и неизменное, или он подвержен изменению во времени?*

Вполне точного и обстоятельного ответа на этот вопрос мы пока дать не можем. Однако, можно с несомненностью утверждать, что состав земной коры есть величина непрерывно меняющаяся.

Земная кора, с одной стороны, постоянно получает вещество извне — а, с другой стороны, она его постоянно теряет.

Соотношение между этой потерей и приобретением вещества и химический характер того и другого процесса не вполне ясны, и не исключена возможность, что между потерей и приобретением вещества в земной коре установилось равновесие, аналогичное тому, которое наблюдается для многих других земных процессов, напр., для состава океанов (гидросферы) или атмосферы.

---

<sup>1)</sup> 0,4% (§ 37). Обычно количество его исчисляют значительно меньше, напр., Клерк (1920) — 0,2%.

**43.** Земная кора приобретает вещество с двух сторон—во первых, она получает космическое вещество—«сверху», и во вторых, в нее постоянно входит вещество—«снизу», из частей земли, лежащих глубже самых глубоких оболочек земной коры. Так как в минералогии мы изучаем далеко не всю земную кору, то для той ее части, которая изучается в минералогии (16 километров, валовой состав которых дан в таблице § 35), имеет значение не только вещество, попадающее снизу в земную кору из земных слоев, к ней не принадлежащих (из-земного ядра), но и вещество, приходящее в верхние 16 километров из более нижних слоев той же самой земной коры.

Явления первого рода—привнос космического вещества—связаны с процессами различного рода: 1) с улавливанием землей газообразных частиц, попадающих в ее поле тяготения и участвующих в движении ее вещества вокруг оси земли, 2) с таким же захватом тончайшей твердой космической пыли, частью остающейся в верхних слоях атмосферы, частью падающей на земную поверхность, 3) с падением на землю более крупных небесных тел—метеоритов<sup>1)</sup>.

Едва ли можно сомневаться как в захвате, так и в потере землей газообразных частиц. При движении в небесных пространствах постоянно происходит медленный, но несомненно заметный в геологическое время, газовый обмен между небесными телами, в частности между планетами. Явление это очень мало изучено; однако, оно уже служило для объяснения разнообразных явлений—так, им объяснялось образование атмосфер вокруг планет или потеря атмосфер более мелкими телами, в частности лунной. Более крупные планеты захватывают атмосферы более легких. В частности, по отношению к земле, этим путем могли бы захватываться частицы легких газов—Н, Не и другие благородные газы, N, м. б., O, CO<sub>2</sub>. Повидимому эта причина увеличения (и изменения) вещества земной коры может вполне и качественно, и количественно покрываться соответственной потерей тех же газов землею при тех же условиях (§ 43).

Количество твердой космической материи, падающей на землю—т. наз. космической пыли, огромно, но, к сожалению, в полном несоответствии с его значением, явление это чрезвычайно плохо изучено. Требующие подтверждения и вызывающие сомнения в своей количественной стороне выводы А. Норденшильда приводят к заключению, что ежегодно падают на землю миллионы тонн космической пыли. Во всяком случае, хотя количественная

<sup>1)</sup> Явления здесь наблюдаемые более сложны. Помимо атомов улавливаются и электроны, как это начинает выясняться в структуре северных сияний и зодиакального света. Электроны, по крайней мере их часть, идут из солнца. Очень возможен привнос и отдельных атомов в связи с явлениями рассеяния элементов.

сторона и неясна—несомненно постоянное падение на землю твердого (и м. б. жидкого?) вещества из мировых пространств, химически отличного от состава земной коры. В течение колоссального ряда лет, в течение геологического времени, масса этой пыли отнюдь не может считаться безразличной для земной коры. Она должна увеличивать, напр., количество Fe и Ni, м. б. и всех тех элементов, которые входят в состав более крупных космических тел—метеоритов.

Наконец, третья причина космического роста земной коры, связанная с падением метеоритов, тоже должна менять состав земной коры, т. к. незначительная по весу в год, она в геологическое время должна дать несомненные большие массы нового для земли вещества. К сожалению, мы можем учитывать сейчас лишь небольшую часть этого вещества, т. к. большая часть его сгорает при падении в атмосферу, или превращается в газы или космическую пыль (болиды и падающие звезды).—По отношению к дошедшим до земной поверхности твердым телам—метеоритам—можно установить их резкое отличие от состава земной коры. Их ежегодно падает до 20000 тонн. Их состав виден из следующей сводки анализов, данной Фаррингтоном (1911)<sup>1)</sup>:

Fe . . . . .	72.01
Ni . . . . .	6.49
Mg . . . . .	3.82
O . . . . .	9.89
Si . . . . .	5.20
Al . . . . .	0.39
Ca . . . . .	0.46
S . . . . .	0.49
Co . . . . .	0.44
Na . . . . .	0.17
P . . . . .	0.15
Cr . . . . .	0.09
C . . . . .	0.04
K . . . . .	0.04
Mn . . . . .	0.03
Cu . . . . .	0.01

99.72

<sup>1)</sup> Эти числа дают приблизительное выражение действительности, т. к. анализы метеоритов из металлического железа сильнее в них выражены, чем это должно быть в действительности. Такие метеориты более представлены в наших собраниях, т. к. они легче сохраняются.

Все остальные элементы дают еще меньшие числа. Т. о. несомненно падение метеоритов увеличивает в земной коре содержание железа, никеля, магния, серы, кобальта, хрома.

**44.** Еще более затруднительны наши выводы по отношению к внутренним слоям земной коры. Один вывод мы можем сделать с несомненностью: в пределах земной коры, 96—125 килом., химический обмен должен происходить. Мы имеем бесспорные указания на проникновение на земную поверхность таких газов, как гелий, азот, водород, аргон и др. из самых глубоких участков земной коры. С другой стороны, в наиболее глубоких участках земной коры, породы которых вынесены ближе к поверхности геологическими изменениями, мы видим явные признаки проникновения в земную кору вещества из области химической оболочки G (базальтической).

Повидимому, однако, этот обмен не очень интенсивен и едва ли простирается на большую глубину. Лишь для газов очень вероятно их проникновение из еще более глубоких слоев.

Этим путем в земной коре могут увеличиваться: H, N, He, Mg, Fe, Ni, Cr, благородные газы.

Очень возможно, что в геологические периоды этот процесс, в конце концов, дал значительное изменение состава земной коры, но мы, пока, не можем это точно констатировать.

**45.** На ряду с таким приносом вещества происходит его *унос из земной коры*. При этом и унос вещества происходит различно для разных элементов, продолжается миллионы лет в течение геологических периодов, а потому, понятно, мог и должен отражаться на составе земной коры.

К сожалению, мы имеем здесь еще менее данных, чем для приноса вещества. Уход вещества из земной коры может совершаться в двух направлениях: 1) отходом его в небесные пространства или захватом его другими большими, относительно близко приближающимися к земле небесными телами и 2) поглощением вещества земной коры более глубокими ее участками или даже областями земли, лежащими вне коры. При этом по отношению к последнего типа явлениям мы сколько-нибудь реальных сведений не имеем и потому оставим их без внимания <sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> По вопросу о внутренних слоях земного шара, мыслимо, как я уже указывал (§ 18), представление о них, как об областях, лишенных химических изменений, вполне химически инертных. В таком случае они не будут находиться в вещественном обмене с более близкими к поверхности слоями земной коры. Не имея ясных указаний или необходимости признать приход или поглощение вещества этими слоями, является более осторожным временно оставить эту возможность в стороне.

В небесное пространство могут уходить легкие газы, особенно Н и He, а также N и O, и затем та тончайшая пыль, которая получается при распадении твердых веществ<sup>1)</sup>.

Еще менее выяснен возможный обмен оболочек C—F с ближайшими участками более глубоких ее слоев—в частности с химической оболочкой G. Едва ли можно сомневаться, что такой обмен происходит: туда должны, например, проникать газы, особенно такие тяжелые, как CO<sub>2</sub>. С другой стороны явления поднятия на земную поверхность глубинных базальтовых (§ 71) пород указывают на возможные смещения (потопления) верхних участков земной коры вниз, растворение в породах оболочки G пород более верхних участков литосферы.

**46.** Пока мы можем, однако, только и остановиться на этих указаниях, которые позволяют утверждать, что химический состав земной коры не есть что-нибудь неподвижное, но, наоборот, непрерывно меняющееся в течение геологического времени<sup>2)</sup>.

Однако, к сожалению, нам неизвестны законы такого изменения валового состава земных оболочек. Гораздо большее значение имеют в минералогии более частные изменения в пределах каждой химической оболочки, обусловленные ее неполной однородностью. Тот химический состав, который указан в § 23—24, дает только самое общее представление о химическом составе оболочки—он дает средние числа, которые подвержены изменению; это проявляется очень ясно, как только мы перейдем к изучению отдельных участков оболочек. Здесь мы всегда встретимся с неоднородностью: некоторых элементов будет меньше, чем сколько их находится в среднем валовом составе, других будет больше. Эти химические изменения имеют огромное значение в минералогии, так как увеличение каких-нибудь химических элементов обычно связано с образованием особых их соединений—минералов, и, наоборот, недостаток того или иного элемента по отношению к среднему валовому составу связан с изменением химических реакций, резко отражающихся на образующихся при этом минералах. Минералогия, в сущности говоря, всегда основывалась на изучении обогащений элементов. «Руды», которые извлекал человек, представляют из себя не что иное, как участки земной

<sup>1)</sup> Эта пыль может изменяться в своем положении еще под влиянием светового давления.

<sup>2)</sup> Есть еще одна причина изменений, которая связана с радиоактивным распадением химических элементов в течение времени и с характером атомов химических элементов. Она только начинает являться объектом нашего научного исследования. Геолог и особенно минералог не может забывать о ее существовании, но пока в этой области явлений минералог может оставить ее в стороне. С ней должен считаться сейчас геохимик.

коры, которые чрезвычайно обогащены тем или иным нужным человеку металлом. Руды железа, например, представляют такие участки земной коры, где процентное содержание железа составляет 50% и выше. Жилы кварца или слои песчаника и кварцита дают до 99.5%  $\text{SiO}_2$ . Слой антрацита дают скопления углерода свыше 90% и т. д.

Задачей минералога является изучение таких участков земной коры, их формы, состава и свойств составляющих их химических элементов.

47. Удобно ввести сюда некоторые общие определения, которые позволят нам легче разбираться в наблюдаемых явлениях.

Мы будем в дальнейшем называть *концентрацией химического элемента в земной коре* нахождение его в данном ее участке в большем количестве, чем сколько должно было бы его находиться в этом участке по валовому среднему для данного участка, в данной химической оболочке. Очевидно, концентрации резко меняются в зависимости от данного элемента или данной области, так, например, для слоя F литосферы для Fe 4% не будет концентрацией железа, а 5% и выше уже будет его концентрацией, для Ti концентрацией будет уже 0.6%, для золота уже 0.001% и т. д. В то же самое время нахождение в гидросфере и 0.01% Fe будет его концентрацией.

Во всякой химической оболочке земной коры мы можем таким путем выделить *химические области*, которые будут различаться по тем элементам, которые в них концентрированы в количествах выше среднего их нахождения в земной коре. Изучение этих областей имело огромное значение и указывает нам на очень важные явления в истории земной коры, например, для гранитных пород, их пегматитовых жил<sup>1)</sup> мы имеем резко различные классы, на значении которых нам придется останавливаться не раз:

- 1) Пегматитовые жилы с концентрацией Cs, Rb, Be, F, Li.
- 2) Пегматитовые жилы с концентрацией Nb, Ta, U, Th, редких земель.

В огромных массивах горных пород мы не редко видим концентрацию Mg, Ca, Na или K, связанную с своеобразным ходом в них химических процессов. В озерах на земной поверхности нередко происходит концентрация бора, магния, иода или брома. Таких примеров можно привести бесконечное множество, и они на каждом шагу будут нам встречаться при дальнейшем изучении.

---

<sup>1)</sup> Выделенных при участии газов и относительно невысокой (не выше в среднем 500° C) температуры при последних стадиях застывания гранитных массивов.

Исследование химических областей, их изменения в глубине, в разных оболочках земной коры, географического расположения, для отдельных химических элементов составляет задачу *геохимии* и не будет являться предметом нашего изучения в дальнейшем изложении. Но при изучении минералов мы должны будем всегда не только определять точно ту фазовую, термодинамическую и химическую оболочки, в которых находится исследуемое тело, но и ту *химическую область*, в которой оно образуется.

**48.** Есть еще одно явление, на котором нельзя здесь долго останавливаться, ибо оно тоже принадлежит к области геохимии, но которое не может быть нами оставлено совсем без внимания, так как оно определяет общую картину явлений, изучаемых в минералогии. Явление это заключается в самом характере состава земной коры. Отчего в ней преобладают немногие элементы? Отчего одних элементов в ней много, а других содержатся только следы? Является ли это явление чистой случайностью или оно обусловлено особыми законностями? И если оно является случайностью, какими явлениями вызван наблюдаемый нами результат?

На эти и многие другие вопросы мы точно ответить не можем. Однако, уже сейчас выясняется, что причиной такого распределения элементов не являются минералогические или геологические процессы. Она лежит глубже и ищется сейчас или в явлениях, связанных с характером самих химических элементов или с характером космических стадий истории земли.

В основе всех предлагаемых теорий лежат эмпирические наблюдения. Не касаясь здесь объяснений, которых очень много, и которые в общем все еще не дали ясного ответа, вкратце остановимся на этих главных эмпирических обобщениях. Их пока немного.

Прежде всего чрезвычайно характерно, что все наиболее распространенные элементы, те, которые составляют 99.5% по весу земной коры, являются: 1) легкими элементами—ни один из них не тяжелее 55.8 (железо) и 2) обладают в огромном большинстве четными и небольшими атомными числами. Это видно из следующей таблицы 12 наиболее распространенных элементов:

Элемент . . . . .	O	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K	H	Ti	C
Атомный вес . . . . .	16.0	28.3	27.1	55.8	40	24.3	23.0	39.1	1.008	48.1	12
Атомное число . . . . .	8	14	13	26	20	12	11	19	1	22	6

Небольшой атомный вес распространенных химических элементов обратил на себя внимание уже давно, его заметили уже первые исследователи XIX в. Филлипс, Деберейнер. Это наблюдение совпадало с очень распространенными представлениями об образовании земли (и солнечной

системы) из газовых сгущений, в которых тяжелые элементы сконцентрировались в центрах этих сгущений. Вещество земли и планет принадлежало по этим теориям к перифериям таких сгущений, т. е. в нем должны были преобладать легкие элементы.

Связь с атомными числами была отмечена лишь в последнее время сперва Оддо (1914), потом Гаркинсом (1916). Элементы с четными атомными числами для метеоритов (§ 46) составляют по весу около 99% их состава, а для земной коры около 87%. Так как элементы с четным атомным числом имеют иное строение своего центрального ядра, такое их распространение не может быть случайностью, а зависит от строения атома. На то же самое, очевидно, указывает и малое значение самого атомного числа (maximum 26 из 92), т. е. малый положительный заряд ядер атомов наиболее распространенных в земной коре и в метеоритах химических элементов.

Едва ли можно сомневаться, что все эти особенности распространенных в земной коре химических элементов не являются случайностью и указывают на какие-то законности, связанные так или иначе с прошлым истории той материи, из которой построена земная кора.

Но эти законности нам сейчас неизвестны. Мы можем только утверждать, что химический состав земной коры не случаен и не обусловлен геологическими причинами. В минералогии мы его принимаем как факт, объяснение которого лежит за пределами ее ведения.

**49.** Литература по вопросу о химическом составе земной коры указана у меня в *Опыте описат. минер. I. П.* 1914, стр. 121, 740. Из неуказанных работ см. еще H. Washington. *Transactions of Americ. Inst. of Min. Eng.* 39. 1908. 735 (перепечатано в сборнике *Ore deposits*, ed. by S. E. M. m. o. n. s. N. Y. 1913. p. 729), R. Daly. *Proceedings of Amer. Acad. of Sc.* 45. N. H. 1911. 211. R. Daly. *Igneous rocks.* N. Y. 1914. 13 сл., H. Washington. *The chemistry of the Earth's crust.* «*Journal of Franklin Inst.*» 190. 1920. p. 765.

В § 33 намечен исторический ход развития этих идей—начатых в начале XIX века в трудах Филлиуса и Деберейнера, оригинальных и самостоятельных ученых, английского минералога и немецкого химика. Эти идеи обратили на себя внимание только через десятки лет в конце XIX и в начале XX века—после работ Клерка и Фохта. Из работ в этой области наиболее важны: F. Clarke. *Data of geochemistry.* 4 ed. Wash. 1920. Его же. *Proceedings of the Americ. Philosoph. Soc.* LI. Phil. 1912. p. 214 сл. J. Vogt. *Zeitschrift f. prakt. Geologie.* B. 1898. p. 225, 314, 377. 1899. p. 10, 274. 1906. p. 223 сл. H. Washington l. c. 1920. Исчисление состава земной коры по % количеству атомов: A. Ферсман. *Известия Акад. Наук* 1912, стр. 367.

О концентрации элементов по химическим областям см. В. Вернадский. Извѣстія И. Акад. Наукъ. Спб. 1914, стр. 999 сл.

Состав метеоритов см. C. Farrington. Publications of Field Columb. Museum. 131. Ch. 1911. В составе, указанном в § 46, приняты во внимание и метеориты, состоящие главным образом из никкелистого железа. Если мы обратим внимание только на каменные метеориты, то анализ их, вычисленный Меррилем (1909), дает другие числа:

O . .	35.98
Fe . .	24.85
Si . .	18.30
Mg . .	13.88
S . .	1.85
Al . .	1.48
Ni, Co . .	1.32
Ca . .	1.22
Na . .	0.71
Mn . .	0.44
K . .	0.28
Cr . .	0.22
P . .	0.11

Клерк указывает, что, вычтя из этого состава железо-никкель, шрейберзит и троилит, мы получим состав базальтовых пород (оболочка G.). См. G. Merrill. Amer. Journ. of. Sc. (4) 27. N. H. 1909. 469.

Значение атомного числа было впервые правильно угадано Ридбергом в 1896 году. В 1914 г., исходя из идей Ван дер Брэка, оно было доказано блестящими работами Мозли. См. G. Oddo. Zeitschr. f. anorg. Chemie. 87. 1914. 266. W. Harkins. The Journal of Americ. Chem. Soc. 38. N. Y. 1916. Philosoph. Magazine. 42. L. 1921. 366.

#### IV. Несколько замечаний о характере природных химических реакций.

**50.** Несомненно выяснение общих законностей в ходе химических реакций в земной коре должно было бы являться главной задачей минералогии. Однако, сейчас мы еще очень далеки от возможности подойти к ее разрешению. Минералогия находится в такой стадии своего развития, что главною ее задачей является изучение продуктов этих природных химических реакций—минералов. История минералов в земной коре

и явится сейчас главной целью этой книги, причем, описывая минералы, я буду стремиться восстановить по возможности те химические процессы, в результате которых они образуются. Эти химические реакции отличаются очень значительно от обычных химических реакций, происходящих в наших лабораториях. Во-первых они иногда длятся многие тысячелетия, во-вторых идут нередко в твердой среде, под большим давлением и при высокой температуре, происходят в сложной химической среде, где одновременно присутствуют многочисленные элементы и где происходят различные химические процессы. Понятно, поэтому, наше затруднение объяснять природные реакции, исходя из данных нашего лабораторного опыта и из изучения свойств и форм нахождения продуктов этих реакций в земной коре, минералов.

Помимо общих представлений о химии находящихся в земной коре элементов и наблюдения в природе, разбираться в природных реакциях помогает и *опыт*—воссоздание в наших лабораториях предполагаемых условий хода природных реакций и искусственное получение минералов в формах, отвечающих их природному нахождению.

Эти опытные методы исследования привели в последнее время к целому ряду важных выводов, особенно для силикатов. Они сейчас вылились в очень большой отдел минералогии — *синтетическую минералогию*. Пользуясь важнейшими достигнутыми в ней результатами, я не могу здесь входить в ее систематическое изложение.

**31.** При изучении природных реакций бросается в глаза гораздо большая их простота, чем это можно было ожидать а priori из известных нам свойств химических элементов земной коры; число минералов и число отвечающих им реакций, известных в земной коре, очень не велико. Но сверх того далеко не все химические элементы дают минералы, многие же, если их и дают, то эти их минералы не играют видной роли в их истории и захватывают малую часть их количества, находящихся в земной коре. Эти элементы не собираются в земной коре в отдельные соединения и являются в ней расселенными в ее живой и мертвой части. Такие элементы как бы совершенно исчезают из рассмотрения при изучении минералогии.

Таков, напр., иод, находящийся в земной коре в многих миллионах тонн и распространение которого очень значительно. Присутствие небольших количеств иода можно доказать в огромном количестве минералов и горных пород: можно утверждать, что он находится в каждом граните, в каждой глине, известняке, почве. Из них он попадает в наземные организмы, напр., в грибы. При разрушении и выщелачивании горных пород иод попадает в морскую воду, и хотя мы не находим его нашими химическими методами ни в морской, ни в речной воде, мы знаем

что он там находится. Ибо он улавливается в этих водах организмами и переводится ими в необходимые для их жизни соединения. Некоторые морские водоросли и губки собирают этим путем значительные количества иода. Как мы знаем, значительная часть употребляемого человеком иода добывается из золы некоторых морских водорослей (ляминарии, филофоры и т. п.). Иод находится во всяком организме и при разрушении организмов он или вновь попадает в живое вещество или рассеивается. На земле существуют какие-то неблагоприятные условия для устойчивости его минералов. Он встречается в земной коре только в виде вторичных тел—немногих вадозных соединений, образование которых в некоторых случаях несомненно приурочено только к биосфере (напр., образование лаутарита). Для иода — кроме лаутарита все его минералы встречаются в небольших количествах, и сам лаутарит в едва видных глазу кристаллах рассеян в чилийских месторождениях натровой селитры, м. б. связан и в ней со вторичными процессами. Для иода известны сейчас следующие минералы: лаутарит ( $\text{CaI}_2\text{O}_6 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ),\* дитцент ( $7 \text{CaI}_2\text{O}_6 \cdot 8 \text{CaCrO}_4$ ),\* шварцембергит ( $\text{PbI}_2\text{O}_6 \cdot 3 \text{Pb}_3\text{O}_2\text{Cl}_2$ ), иодирит ( $\text{AgI}$ ),\* иодобромит [ $\text{Ag}(\text{I}, \text{Br}, \text{Cl})$ ],\* маршит ( $\text{Cu}_2\text{I}_2$  — встреченный один раз в ничтожных количествах в Египте),\* майреит ( $4 \text{AgICuI}$ ),\* кокцинит (иодистая ртуть) и иодоватокислый натрий, ближе не изученный<sup>1)</sup>. В общей массе иода в земной коре все эти соединения играют совершенно ничтожную роль, и если бы мы оставили их без рассмотрения, наши представления об истории иода в земной коре изменились бы только в частности. Совершенно аналогичные явления мы имеем и для брома, кадмия и т. д.

**52.** С другой стороны, такие элементы, как, напр., цезий, скандий, таллий, иттрий, рубидий и т. д., дают соединения лишь в виде немногих ювенильных (§ 78) или фреатических минералов, причем в них тоже сосредоточена небольшая по весу часть природных запасов этих элементов, тогда как наибольшая их часть находится в виде изоморфных или микрокосмических смесей.

Есть элементы, которые на земле встречаются исключительно в форме изоморфных или микрокосмических смесей, как-будто в условиях земных реакций только в этих формах они могут существовать. Таковы Ga, In, Rb, большинство элементов редких земель. Сюда же относятся относительно недолговечные или редкие элементы, образующиеся при распаде рядов урана и тория — Po, Ac, Ra, Pa, Io и т. д.

Наконец, нельзя забывать и того, что в природе наблюдаются как раз все те газы, которые и в лаборатории не дают соединений — Ar, Ne,

<sup>1)</sup> Звездочкой обозначены очень редкие минералы.

эманации радия и тория и актиния, Хе, Кг, Не. Они встречаются в земной коре в самородном состоянии в виде рассеяний в газовых смесях.

Благодаря этому количество элементов, соединения которых должны приниматься во внимание в минералогии, чрезвычайно уменьшается. Девять элементов: Не, Аг, Не, Хе, Кг, Nt, Rh, Ir, Os встречаются с минералогической точки зрения только в самородном состоянии (почти только Pt, Ru и Pd). Эти 12 элементов почти не дают или совсем не дают в земной коре соединений.

А для следующих 24 химических элементов: Ga, In, Ge, Rb, Sc, Ra, Br, J, Cd, Tl, Cs, Gd, Dy, Yb, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tu, Eu, Er, Ho, Cl, La, Po, Ra, Ac, Ра мы можем совсем почти не принимать во внимание их минералов, так как они дают или редкие тела, или встречаются в растворах. Их историю нам придется изучать попутно, при изучении минералов других элементов, к ним близких по условиям нахождения в природе, и она не может-быть выяснена в минералогии целиком.

Т. о. для 41 химических элементов из 87 ныне известных, т.-е. для 47.1% всех нам известных атомных чисел минералы не характеризуют их историю в земной коре — она обуславливается не их природными химическими реакциями.

**53.** Чрезвычайно характерно, при этом, что очень многие из химических элементов не разделяются на свои соединения, а встречаются в природе совместно.

В некоторых случаях причина этого для нас ясна — изотопный характер многих элементов. Вследствие этого не разделяются такие элементы, как Th и Jo, образующийся из урана, и другие продукты радиоактивного распада. Больше того, для нас ясно, что многие химические элементы, встречающиеся в природе (в том числе такие обычные, как Si или Cl) являются сложными, смесью изотопов. В чем заключается причина такой смеси изотопов (постоянства атомного веса смеси), нам неясно (§ 39).

В некоторых случаях, напр., для Pb или Th, генезис изотопов ясен, и их смеси различны по атомному весу для разных минералов. Здесь причина совместного нахождения химических элементов связана с их образованием друг из друга.

Гораздо труднее выяснить эту причину в некоторых других случаях совместного нахождения неизотопических элементов в природе, которая не менее закономерна, но, повидимому, представляет явление несколько иного порядка. Иногда она связана с принадлежностью элементов к одному и тому же изоморфному ряду; но далеко не всегда это объяснение достаточно. Так несомненно оно не достаточно для объяснения постоянного совмест-

ного нахождения *элементов группы редких земель*, по отношению к которым еще недавно (1915) Крукс правильно подчеркнул свой старый взгляд (1888), что их совместное нахождение связано с глубочайшими свойствами элементов, вероятно с их генезисом. Однако, этот генезис иного порядка, чем явление радиоактивного распада урана и тория. По крайней мере нам незаметны количественные соотношения между этими элементами.

Здесь элементы: Gd, Dy, Yb, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tu, Ce, Eu, Er, Ho, постоянно находятся вместе, разделяются на земле на две группы, в одной из которых количественно преобладает Ce — группа [Ce], в другой примешан изоморфный с данной группой, но ей чуждый Y — группа [Y]. Однако, в небольших количествах в обеих группах можно найти всех представителей редких земель. Надо думать, что и неизвестный новый (№ 61) химический элемент будет найден в тех же минералах. Вместе с ними очень часто встречаются Y, Sc и Th, что едва ли можно считать случайностью.

Совместное нахождение этих элементов является одной из интереснейших задач геохимии, а минералы, в которых они наблюдаются, являются очень важной, и своеобразной областью минералогии. Очевидно, должны существовать причины, которые вызывают такую своеобразную химическую историю этих тел в земной коре — но они нам неизвестны.

Аналогичную картину — туманности элементов — в меньшем размере — представляют элементы Ir — Os группы — Ir, Os, Rh, Ru — или платиновой — Pt, Ir, Pd, Fe, Cu. Очень своеобразную группу совместно наблюдаемых в природе элементов представляют Nb и Ta и т. д.

Пока мы можем считаться с этим явлением только как с эмпирическими фактами.

**54.** Считая и редкие минералы и самородные элементы, мы имеем сейчас минералы (чистые соединения элементов или растворители изоморфных смесей) для 59 элементов из 87 (т.-е. 67 · 8%), но из них только для 46 эти минералы имеют значение в истории земли.

По отношению ко всем минералам мы наблюдаем то же явление, которое мы встречаем при изучении элементарного состава земной коры, т.-е. резкое преобладание среди них немногих тел; при чем это наблюдается и для всей земной коры, и для каждого химического элемента в отдельности. Нас поражает химическое однообразие той среды, которая составляет земную кору (см. химические оболочки § 30). В главную массу земной коры едва ли входит более 30 семейств минералов и около 10—12 из них образуют не менее 0.9 по весу всей земной коры (полевые шпаты, кварц, авгиты, роговые обманки, перидоты). Даже если считать не группы минералов, а отдельные минералы, встречающиеся вообще в значительном количестве — их окажется едва ли больше 200 — 250.

Всех минералов (минеральных видов и разновидностей), приняв во внимание и очень редкие, соберется не более 2.500 — 3.500 <sup>1)</sup>.

Это ничтожное количество минеральных видов, т. е. отдельных определенных соединений или разных разновидностей твердых растворов, совершенно несравнимо с количеством видов живого вещества (организмов) — их известно сейчас более 750.000, а существует, вероятно, несколько миллионов. Количество же минералов, считая и еще неизвестные, едва ли значительно увеличится, когда мы достигнем полного их познания <sup>2)</sup>.

В организмах — из тех же элементов, которые они берут из минералов — образуются сотни тысяч, м. б. миллионы соединений. Человек в своей недолгой научной работе в лабораториях уже получил сотни тысяч соединений и несомненно может получить их миллионы.

Малое количество природных соединений — минералов — очевидно указывает на относительно малое — по сравнению с возможными для элементов — число, отвечающих им природных химических реакций.

**55.** Должна существовать, очевидно, причина подобного однообразия в химии земной коры. Эту причину надо искать в характере тех сил, под влиянием которых идут земные химические реакции. Эти реакции идут, главным образом, на счет внешней энергии — преимущественно солнца, приток которой, с одной стороны, очень постоянен и относительно невелик и который, с другой стороны, в значительной мере не используется на химические процессы, а идет на нагревание, на механические изменения, перехватывается живым веществом.

Этот приток энергии используется весь без остатка и вызывает в земной коре целый ряд обратимых круговых процессов <sup>3)</sup>.

Благодаря относительно небольшому количеству минералов для отдельного химического элемента, можно легко проследить их взаимные соотношения и их значение в геохимической истории элемента.

При этом, конечно, нет надобности останавливаться на всех минералах; все редкие минералы можно отбросить и принять во внимание только те, которые обычны для данного элемента. При этом оказывается, что все такие минералы генетически тесно связаны друг с другом, т. е. образуются друг из друга при определенных, повторяющихся,

<sup>1)</sup> Вашингтон (1920) насчитывает их всего 1.000 — но это число слишком преуменьшенное.

<sup>2)</sup> В год открывается не более 20—30 новых минералов. Для сравнения можно отметить, что по А. П. Семенову-Тяньшаньскому в год открывается до 6.000 новых видов насекомых.

<sup>3)</sup> Эти обратимые реакции, круговые процессы характерны не для всех элементов, но для 39—40. Но эти циклические элементы составляют более 99,7% по весу земной коры

внешних условиях. Изучая их взаимные соотношения, мы можем проследить историю данного минерала, его изменение во времени.

Оказывается при этом, что все так изучаемые минералы являются промежуточными, временными членами одного и того же химического процесса, неуклонно и постоянно возобновляющегося в природе (или очень немногих процессов).

Почти во всех случаях нам ясен такой характер минералов. Все химические реакции земной коры, насколько можно их проследить до сих пор, представляют определенные циклы, определенные круговые системы химических изменений, которые постоянно вновь повторяются. Химический элемент, находящийся в каком-нибудь минерале, вновь возвращается в тот же минерал в конце цикла и вновь начинает прежний ход своего нахождения в земной коре.

Ярким примером таких реакций является точно установленный в 1840-х годах Дюма и Буссенго круговорот  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в атмосфере, при чем эти тела в некоторых стадиях цикла постоянно проходят через сложные органические соединения, строящие тело животных и растений, но затем вновь выделяются в прежних чистых формах.

Такой круговорот может быть выяснен для очень многих элементов,<sup>1)</sup> благодаря тому, что в каждой химической или термодинамической оболочке земной коры устойчивы очень немногие их соединения—нередко два, три, иногда одно. Медленно и неуклонно такой химический элемент, в каком бы виде он ни попал в данную химическую или термодинамическую оболочку, перейдет в тот отвечающий ему минерал, который для него в ней устойчив. Так, напр., в осадочной оболочке и вообще в коре выветривания для марганца таким устойчивым телом является  $\text{MnO}_2$  (пиролюзит), для кремния  $\text{SiO}_2$  (кварц), для железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{HO})_6$  (лимонит или бурый железняк), для кальция— $\text{CaCO}_3$  (кальцит),  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (гипс) или  $3 \text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8 \cdot \text{CaF}_2$  (фторанатит) и т. д. Так как геологическое время с точки зрения скорости всех изучаемых химических процессов бесконечно велико—то, в конце-концов, всякое соединение данных элементов непременно даст эти тела, если только не будет условий, которые нарушат медленный ход их изменения. При этом, если эти тела будут находиться в пределах данной оболочки, они останутся в ней века и тысячелетия без всякого дальнейшего изменения. Они изменятся только тогда, когда в пределах данной оболочки

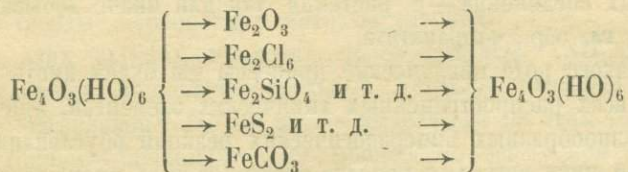
<sup>1)</sup> Для Ag, Al, As, B, Ba, C, Ca, Cl, Cu, Fe, H, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, O, P, Pb, S, Si, Sn, Sr, Ti, V, Zn — с несомненностью. С очень большой вероятностью для Be, Bi, Cd, Co, Cr, Hg, Mo, Sb, Se, Te и W (всего для 39). Для других элементов круговые процессы или не наблюдаются или захватывают небольшую часть их атомов.

на них воздействует какая-нибудь чуждая форма внешней энергии (напр., живое вещество, растворяющая вода и т. д.), или они попадут вследствие тех или иных геологических причин в иную земную оболочку.

Круговой характер процесса здесь сказывается, во-первых, в том, что устойчивое для данного элемента—в условиях данной оболочки земной коры—соединение, измененное какими-нибудь внешними причинами, предоставленное вновь самому себе, вернется в то же исходное соединение, а во-вторых, в том, что данное устойчивое соединение, выведенное из соответствующей ему земной оболочки в другую оболочку, там переходит в то новое соединение, которое устойчиво для него в новых условиях; если же это новое соединение попадет вновь в прежнюю оболочку, оно перейдет в прежнее исходное устойчивое тело.

Несомненно в течение огромного геологического времени, при смене геологических процессов все эти явления постоянно должны и будут наблюдаться и идут в ту и другую сторону.

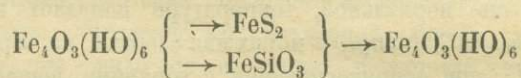
**56.** В немногих словах остановимся на одном, двух примерах. Бурый железняк или лимонит (в который в конце-концов перейдет и другой гидрат окиси железа, в т. наз. ржавчину, которой покрываются в наших условиях железные предметы) меняется в коре выветривания под влиянием немногих причин: в тех случаях, когда он при несколько повышенной, против нормальной, температуре попадает в относительно крепкие растворы NaCl (напр., в морях или озерах), он теряет воду и переходит в  $Fe_2O_3$ ; при соприкосновении с горячими веществами, связанными с вулканическими извержениями, он теряет воду и дает разнообразные хлористые, кремнекислые, сернистые и другие соединения или переходит в  $Fe_2O_3$ ; под влиянием некоторых организмов в присутствии  $CO_2$  он переходит в  $FeCO_3$ . Но, во всех этих случаях, как только прекратится действие той причины, которая вызвала новую группировку атомов железа, более или менее быстро, в течение месяцев, годов, десятилетий или еще большего времени, неизбежно вернется прежняя группировка. Мы можем выразить это явление так:



Аналогично данным циклическим процессам, если только лимонит из коры выветривания попадает в метаморфическую или магматическую область, он перестает существовать. Переход в метаморфическую область может произойти и происходит различным путем. Достаточно, напр.,

чтобы слой, где находится лимонит (образующийся, например, постоянно в озерах или болотах нашего климата в виде озерной или болотной руды), покрылся достаточным количеством посторонних веществ, повысивших давление, которому он подвергается, или его температуру для того, чтобы он, перестал существовать, стал переходить в новое тело. Если озерная руда прекратит образовываться вследствие замирания озер, и в геологическое время старые озерные осадки занесутся достаточной толщиной глинистых слоев,  $\text{Fe}_4\text{O}_3(\text{HO})_6$  перейдет—если не вступит в новые химические реакции—в гематит или железный блеск— $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Однако, мы увидим, что в метаморфической области и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  не является устойчивым телом—здесь устойчивы, главным образом, разные минералы, богатые метасиликатами закиси железа— $\text{FeSiO}_3$  или такие, как  $\text{FeS}_2$ ; история железа в этой земной оболочке может быть очень сложная. Но как бы то ни было—если бы, в какой бы то ни было стадии процесса, денудацией или другим геологическим путем, покрывающий измененную старую озерную руду слой давящих пород был сметен, и она снова очутилась бы в прежней оболочке—коре выветривания, все эти, сколь бы ни были они разнообразны, тела опять перейдут в прежний бурый железняк  $\text{Fe}_4\text{O}_3(\text{HO})_6$ .

Мы можем и здесь процесс выразить схемой:



Как другой пример подобного рода явления можно привести изменение фосфата кальция, входящего в состав костей организма. Это нормальный  $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ , проникнутый или слабо химически связанный с органическими соединениями. После гибели организма, оставшиеся в земле кости—если они не перейдут в раствор—превратятся, как показал Карно, медленно в течение многих тысячелетий в  $3\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8 \cdot \text{CaF}_2$  во фторапатит. Можно убедиться, что фосфор для костей животные организмы, в конце-концов, получают из растений—из их сложных фосфорно-органических соединений—а растения так или иначе добывают фосфор из апатита, гл. обр., фторапатита.

**57.** Такого рода циклические процессы мы будем иметь на каждом шагу для всех распространенных химических элементов, причем многообразие разнообразных минералогических реакций обуславливается тем, что в новый цикл вступают нередко незаконченные промежуточные продукты начавшегося изменения. Здесь нет надобности останавливаться на этих явлениях, так как мы с ними будем встречаться все время в течение всего дальнейшего нашего изучения, так как история минералов является главным объектом этого курса.

Надо заметить, что в пределах каждого большого цикла мы нередко имеем более мелкие циклические процессы, связанные с какими-нибудь явлениями, тоже постоянно повторяющимися в земной коре. Особенно часты такие явления в биосфере или на границе разных земных оболочек.

Как на примере такого циклического процесса я остановлюсь на истории *аммиачной селитры*, как она выяснена Шлезингом. Аммиачная селитра —  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — встречается в природе нередко, но никогда не собирается в заметных количествах. Она наблюдается в виде пыли в атмосфере, в растворе в морской воде, в верхних частях почвы. В атмосфере она наблюдается в виде всюду распространенных твердых частиц. Исходным для нее телом является  $\text{NH}_3$ ; по определению Шлезинга, в среднем, в 100 куб. метрах воздуха находится 2.25 милигр.  $\text{NH}_3$ ; причем часть его находится в виде селитры, другая в виде карбоната, м. б. иногда в свободном состоянии и т. д. В почву аммиак в том или ином виде попадает из воздуха с дождем, снегом, росой или прямо ею поглощается, если в почве очень мало аммиака. В почве аммиак быстро окисляется, биохимическим путем переходя в азотные и азотистокислые соли, главным образом, аммония, калия, натрия и кальция (см. селитры).

Из почвы же селитры поглощаются растениями, и их азот входит в разнообразные азотистые тела растительных организмов, откуда они переходят в тела животных. При гниении и разрушении этих организмов вновь образуется  $\text{NH}_3$ , который очень легко опять дает  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Аммиак, связанный с таким разложением организмов, свободный или в виде нитратов и карбонатов, попадает через реки или разложением морских организмов в океаны. Океаны являются огромным резервуаром нитратов и карбонатов аммония. Из них или путем непосредственного испарения морской воды, или путем брызг и капель с морской водой в воздух могут попадать твердые частички  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . Но в зависимости от количества  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  и  $\text{CO}_2$  в воздухе может идти выделение в воздух этих газов, благодаря диссоциации растворенных в морской воде аммиачных солей, при чем выделенные в воздух газы дают вновь твердые карбонаты и нитраты аммония.

Азот в этих случаях проходит через  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NH}_3$ , селитры щелочных и щелочноземельных металлов, сложные азотистые соединения организмов. Но он может выделяться из этих тел и в свободном состоянии — биохимическими процессами всюду при разложении организмов идет выделение свободного азота из его соединений (неизбежно связанных с  $\text{NH}_3$  и селитрами) и в то же время денитрифицирующие бактерии почв или морской воды выделяют его разложением нитратов, в том числе и  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Но для свободного азота есть и обратные реакции; он поглощается некоторыми организмами (бактериями, грибами, зелеными водорослями и т. д.) и переходит непосредственно в их сложные азотистые соединения. Он дает окислы, постоянно соединяясь в атмосфере с кислородом и водородом под влиянием тихих электрических разрядов или ультрафиолетовых лучей солнца.

Таким образом, мы видим сложные круговые, связанные между собой, процессы между N, NH<sub>3</sub>, селитрами, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и сложными органическими соединениями живой материи.

Они постоянно повторяются, все время идя в ту или другую сторону в зависимости от сложных условий среды.

**58.** Постоянство всех этих циклических процессов обуславливается тем, что 1) состав земных оболочек постоянен и в общем неизменен и 2) что совершенно или почти совершенно неизменны те внешние силы, насчет которых идут земные химические реакции.

Очевидно, существование таких определенных циклов в земных химических реакциях связано с тем, что эти реакции определяются законами равновесий. В химических, как и в механических равновесиях всякая система приходит в равновесие тогда, когда будет использована вся свойственная ей свободная энергия, т. е. та энергия, которая может производить работу в данных условиях. Установившееся при этом равновесие может быть вновь нарушено только при вносе внешней или внутренней энергии, при чем измененная система вновь вернется в прежнее состояние устойчивого равновесия, когда эта новая энергия будет нацело использована.

Можно выразить эти простые соображения так, что система находится в устойчивом равновесии, когда ее свободная энергия достигла возможного для нее минимума, возможно приблизилась к нулю.

Очевидно, система будет находиться в таком состоянии тогда, когда прошло достаточное время для исполнения всех изменений, возможных в данной системе.

**59.** В таком положении несомненно находится наша планета, т. к. в ней все без исключения химические реакции имеют такой ярко выраженный характер устанавливающихся устойчивых равновесий, причем эти реакции возобновляются только благодаря притоку внешних сил, нарушающих установившееся или устанавливающееся равновесие.

Эти внешние силы могут быть сведены к немногим различным источникам. Ими являются: 1) энергия солнца, поскольку она вызывает химические, механические, электрические, тепловые и другие изменения на земной поверхности, 2) такая же, как мы знаем несравненно меньшая, энергия других небесных светил, достигающая нашей планеты,

3) геологические явления, происходящие на земле, 4) энергии, связанная с живым веществом, 5) явления, связанные с радиоактивным распадом химических элементов, т. е. атомная энергия некоторых (а, м. б. в течение геологического времени и всех?) химических элементов и, наконец, м. б. 6) космическая, до геологического времени, энергия самой планеты.

Эти разные источники внешней энергии, насчет которых идут химические процессы земной коры, могут быть сведены к еще меньшему числу, т. к. геологические явления происходят или на счет энергии солнца, радиоактивной, или тяготения (напр., шаррижи, смещение земных пластов, давление слоев и т. п.). Эту последнюю форму мы можем соединить с космической энергией планеты. Точно также и вся энергия живого вещества может быть сведена к энергии солнца, вызывающей все химические и физические процессы, связанные с живым веществом. По крайней мере, этой энергии достаточно для объяснения данных явлений при современном состоянии наших биологических, в частности физиологических знаний.

Т. е. в конце концов мы имеем четыре источника энергии, насчет которых может нарушаться устойчивое равновесие, устанавливающееся в течение геологического времени в земных оболочках: солнечная, небесных светил, радиоактивная и земная, оставшаяся от космических периодов земли. Этой последней энергии придавали еще недавно огромное значение, рассматривали, напр., вулканические извержения, как отражение из века, до геологического времени, расплавленной планетной массы или принимали (очень часто и теперь), что горообразование связано с сжатием земли, вследствие потери лучеиспусканием извечной космической земной тепловой энергии. Надо, однако, признать, что эти гипотезы не основаны на несомненных фактах, а введены для объяснений явлений, которые, однако, с таким же успехом могут быть объяснены и без их помощи.

Они связаны с тем господством космогонических воззрений, которое охватило научное мировоззрение нашего времени, в частности Лапласовой схемы в ее разнообразных проявлениях. Предположение о некогда расплавленном состоянии нашей планеты крепко пропикло в современное научное мировоззрение—однако, мы не должны забывать, что корни его не основаны на научных фактах. Внутренняя теплота земного шара, как остаток когда то расплавленной планеты не проявляется нам в точных научных фактах, если мы к ним отнесемся критически.

Но, несомненно, в самых разнообразных формах, большую роль в нарушении устанавливающегося устойчивого химического равновесия земных оболочек играет всемирное тяготение, в частности в форме земного притяжения—передвижения масс на земной поверхности (движения океанов, ледников и т. п.).

Наконец, при наших современных знаниях энергия небесных светил может быть совсем оставлена без внимания, не учитывается в геологических явлениях <sup>1)</sup>.

Но уже и перечисленных форм энергии достаточно для того, чтобы совершенно объяснить постоянно возобновляемый циклический процесс.

Все эти формы энергии проявляются медленно и мало интенсивно и не изменяют заметным образом основного характера земной химии, резкого стремления к устойчивому равновесию.

**60.** Отсюда можно сделать много выводов, проверяемых наблюдением, из которых я считаю необходимым для понимания дальнейшего остановиться на двух: 1) на изменении минералообразований во времени, в течение геологических периодов и 2) на постоянстве количества живого вещества в земной коре в течение геологического времени.

При изучении явлений, связанных с образованием минералов, бросается в глаза, что мы не видим *никакого их изменения* в течение геологических периодов. Одни и те же тела образовывались в кембрийское время, в доступные нашему изучению докембрийские геологические периоды и в настоящее время. Нет ни одного минерала, который бы был приравлен к определенному геологическому времени <sup>2)</sup>. Это явление может быть для нас понятно только при допущении: 1) что в течение всего этого времени, т. е. с древнейшего доальгонкского—архейского—времени и вплоть до настоящего, химический состав земных оболочек и их характер не претерпел заметных изменений и что 2) характер тех сил, которые отражались на химических процессах земной коры был и качественно, и количественно схож с тем, какой сейчас наблюдается.

Можно утверждать еще большее: не только заметно не изменялись в течение всего этого долгого времени продукты химических реакций, но и количественные соотношения между ними, повидимому, оставались те же самые. Это возможно лишь при условии, если в течение геологического времени земные оболочки и характер их энергии не претерпевали резких изменений.

Для них наблюдались лишь временные колебания; как это, например, ясно видно в истории льда, скапливавшегося в т. наз. ледниковые эпохи, известно для золота и т. п. Но это были колебания около неизменного среднего, идущие в ту и в другую сторону.

<sup>1)</sup> В космогонических системах ее значение иное; так, возможно, что в космические периоды истории земли значение луны было совсем иным, чем мы это видим в периоды земной геологической истории.

<sup>2)</sup> Мы имеем ряд минералов, которые не сохранились от далеких геологических эпох—но мы можем почти всегда на основании косвенных, но точных, данных убедиться, что они раньше там были.

В далекие от геологических, предполагаемые космические периоды истории земли, не могли существовать те земные оболочки, которые служат местом современных химических реакций; в них действовали силы, отличные от указанных выше форм энергии. Однако, эти космические периоды жизни земли ни в чем не замечаются в геологической химической истории земли: надо думать, что все их следы стерты в течение миллионов лет геологического времени, когда все вещество земной коры приняло атомные группировки, отвечающие геологическим периодам нашей планеты.

**61.** Своеобразный характер химии земной коры сказывается и на свойствах живого вещества <sup>1)</sup> Живое вещество представляет, несомненно, единственный фактор в истории земли в геологическое время, который мог бы вызвать на земле создание новых, несуществовавших в ней раньше соединений. Не говоря уже о XVI—XX столетиях нашего летоисчисления, когда мысль человека начала могущественно вмешиваться в долго неизменный ход химических процессов земной коры и создавать в ней в огромных количествах новые тела—продукты техники—ясно, что влияние живого вещества должно было сказываться и гораздо раньше. Столь ярко выраженная эволюция во времени морфологических форм живого вещества—животного и растительного мира—несомненно, всегда была неизменно связана с созданием внутри организма новых химических тел, характерных для его новых морфологических форм. Несомненно, все эти химические тела очень подвижны, неустойчивы, нередко близки по своим свойствам, но они все же различны химически, и едва ли одинаковы были органические вещества каких-нибудь пермских ящеров с веществами современных теплокровных животных, в то время отсутствовавших, и едва ли могли в каменноугольную эпоху существовать красящие пигменты и алкалоиды наших цветковых растений.

Но, если химический состав этих меняющихся соединений и мог быть различен, нельзя допустить, чтобы в общем участие живого вещества в процессах минералообразований резко менялось в течение геологических периодов, ибо иначе мы как-нибудь, а увидели бы это изменение в получаемых в разные геологические эпохи минералах. Приходится допустить, что не только оно всегда действовало в одинаковом с ныне наблюдаемым направлении, но и та энергия, которую для этого доставляло живое вещество, оставалась в течение всего этого времени относительно неизменной с небольшими колебаниями в ту и в другую сторону.

---

<sup>1)</sup> Под именем живого вещества я буду везде подразумевать совокупность живых организмов.

Мы увидим в дальнейшем, какое огромное влияние живое вещество оказывает на процессы минералообразований, и как оно является неизбежным звеном во всех главнейших циклах химических элементов. Биосфера очень глубоко отражается на всех главнейших химических процессах земной коры.

Если при этих условиях в течение всех геологических периодов нельзя заметить в ходе химических процессов никаких изменений, это возможно, кажется мне, лишь при двух обстоятельствах: 1) потому, что во все эти периоды существовало живое вещество, общий характер химических реакций которого, в их главных проявлениях, был аналогичен теперешним, и 2) количество этого вещества, по скольку это связано с поглощенной им солнечной энергией, способной являться формой свободной энергии, в химических процессах земной коры, было в течение всего геологического времени в общем неизменно. В биосфере было сосредоточено столько же в общем (с небольшими колебаниями) живой материи, сколько ее находится в ней в нашу геологическую эпоху.

Этот вывод не является чем то особенным для живого вещества. Он неизбежен—при независимости минералов от геологического времени—для всех форм участвующей в процессах их образования энергии. И лучистая энергия солнца, и интенсивность радиоактивных процессов, и энергия, свойственная земному шару, не менялись заметно в течение геологического времени.

**62.** Общего обзора химических реакций земли нет. Многочисленные правильности постоянно отмечались химиками и минералогами попутно в сводных работах. Так из химических работ можно отметить любопытные замечания у J. Dumas. *Leçons sur la philos. chimique*. 2 ed. P. 1878 (без перемен—лекции 1837 года), J. Liebig. *Chemische Briefe*. 6 изд. L. 1877 (первое в 1844). Д. Менделеев. *Основы химии*. 7 изд. П. 1906.

Сводки и руководства по химической минералогии дают м. пр. указания и на общие правильности химических процессов земной коры. Из таких сводок можно отметить C. Bischoff. *Lehrbuch d. chem. u. physikal. Geologie*. 2-te Aufl. I-IV. B. 1863—1871. C. Doelter. *Chemische Mineralogie*. L. 1890. F. Brauns. *Chemische Mineralogie*. V. Elsdon. *Principles of chemic. geology*. L. 1910. F. Clarke. *Data of geochemistry*. 4-th ed. W. 1920. М. Федоровский. *Генетическая минералогия*. П. 1920. В большом и очень различном по своим достоинствам *Handbuch d. Mineralchemie*, издав. Дельтером с 1912 г., имеются многочисленные указания.

Циклический характер процессов был выяснен наиболее ярко первоначально для элементов, связанных с живыми организмами—O, N, P, S

и т. д. Дюма и Буссенго выявили это в форме, сохранившейся неизменной во многом для нашего времени. Для других элементов пытался приложить эти воззрения Мор. До сих пор, главным образом, применяют эти идеи для органогенных элементов. Из огромной литературы см. J. Dumas et J. Boussingault. Essai sur la statique chimique des êtres organ. 2 ed. P. 1842. F. Mohr. Geschichte d. Erde. 2-te Aufl. 1875. W. Кноп. Kreislauf d. Stoffes. Lehrbuch d. Agriculturchemie. L. 1868. G. Bunge. Lehrbuch d. Physiologie d. Menschen II. 2-te Aufl, L. 1905. С. Виноградский. Круговорот азота. «Дневник XIII съезда Ест. и Вр. М. 1910. С. Linek. Die Kreislaufvorg. im Mineralr. 1912 (Его же статья и статья F. Czapek Kreislauf d. Stoffes в Handwörterbuch d. Naturw. V. 1914). А. Mayer. Handbuch d. Agriculturchemie. 6 Aufl. I. 1921. В. Омелянский. Основы микробиологии. 3 изд. II. 1922.

В частности об элементах редких земель в связи с их общими свойствами и нахождением в земной коре см. W. Crookes. The genesis of the chemical elements 1884. (Есть русский перевод). Schilling. Das Vorkommen von seltener Erden im Mineralreiche. М. 1904. Н. Little. Rare earths. Friend's Textbook of inorgan. chemistry». IV.L. 1917 (хорошая сводка).

*О рассеянии и нахождении иода* в земной коре см. литературу у В. Вернадского. Опыт описат. минер. I. II. 1914. стр. 128.

*Искусственное получение минералов* обратило на себя внимание в конце XVIII, начале XIX стол. Вначале очень много данных было получено, благодаря искусственному получению соединений, подобных минералам во время технических процессов (в шлаках, доменных печах и т. п.). В 1870—1880-х годах замечательные опыты Фуке и Мишель Леви привели к ряду очень важных обобщений и установили в научном сознании значение *синтетической минералогии*. Несмотря на значительное количество новых данных, полученных после их работы, несомненно эта область знания далеко не вызывает к себе того научного внимания, какое отвечает ее значению. Главнейшая литература: Fouqué et Michel Levy. Synthèse des minéraux et des roches. P. 1882. Bourgeois. Reproduction artificielle des minéraux. P. 1884 (Encycl. chim., изд. Fremy). П. Чирвинский. Искусств. получение минералов в XIX ст. К. 1903—1906. С. Doelter. Handb. d. Mineralchemie. I—V. L. 1910—1921 (не окончено). E. Dittler. Mineralsynthet. Practicum. Dr. 1914.

*О разном характере химических элементов в связи с круговыми процессами.* См. В. Вернадский. Природа. II. 1922.

## V. Форма нахождения минералов в природе.

### 1. Определение минерала.

**63.** В основе минералогии лежит понятие о минерале, сложившееся исторически и менявшееся в своем содержании в долгие годы развития этой науки. Постепенно выделились из старинной минералогии, иногда называвшейся ориктогнозией разные другие естественные тела, которые когда то соединялись с минералами в одну группу — горные породы, составившие петрографию, окаменелости — палеонтологию, почвы — почвоведение, кристаллы — кристаллографию, химические элементы — геохимию.

В настоящее время мы называем *минералом* — *физически или химически индивидуализированный продукт земных химических реакций, состоящий из химических молекул.* Дать вполне полное определение этому понятию мы не можем, как не можем дать такового и для других объектов природы; постоянно мы затрудняемся, напр., надо ли отнести те или другие организмы к животным или растениям, имеем ли мы дело с отдельным организмом или с их симбиозом или колонией, с почвой или горной породой и т. д. Несмотря, однако, на это мы можем совершенно точно и полно идти в нашем исследовании, так как наше определение объекта этих наук достаточно ясно и непреложно для главной массы фактов и оказывается недостаточным лишь в ничтожном количестве случаев. При этом и эта недостаточность имеет значение, т. к. она ставит новые научные вопросы, разрешение которых углубляет наше знание.

Это явление общее для всех чисто индуктивных наук, где никогда не может быть достигнуто такое логическое определение объектов их исследования, которое бы всецело их охватывало. Индуктивные науки никогда не могут овладеть знанием природы до конца, всегда останется неразрешимый остаток, который и сказывается в неполноте логических определений и логических законностей.

**64.** То же самое имеет место и по отношению к объекту минералогии — минералу. Мы чрезвычайно часто находимся в затруднении решить, имеем ли мы дело с минералом, горной породой или каким-нибудь иным объектом, промежуточным между горной породой и минералом и требующим создания особого понятия. Поэтому нет полного единодушия между минералогами относительно круга ведения минералогии, так как он меняется в зависимости от того, что они принимают за минерал в своей научной работе и как они смотрят на научные явления в смежных областях.

Одно из главных разногласий заключается в признании за минерал тел жидких и газообразных. Некоторые их за таковые не признают.

Собственно говоря их исключение из области ведения минералогии произошло в науку поздно, в конце первой половины XIX века, когда кристаллография стала главным объектом минералогов, и кристаллографические свойства выдвинулись на первое место в научных описаниях. К тому же в это время очень быстрый рост имели — с конца XVIII века — минералогические собрания, объектом которых являются почти исключительно твердые природные тела. Постепенно только они одни и стали называться минералами.

В своих лекциях я буду придерживаться старой традиции, которая к тому же никогда не прерывалась, и буду называть минералом всякий продукт природных реакций — достаточно точно физически или химически индивидуализированный в форме молекул — будет ли он твердым, жидким или газообразным. С этой точки зрения минералом будет воздух, углекислота, кислород, морская вода и т. д.

**65.** Несомненно при таком определении минерала могут быть некоторые совпадения с предметами других наук, напр., для воздуха или океанической воды. Однако, совершенно ясно, что в этих случаях данные объекты будут изучаться в океанографии или метеорологии совершенно с другой точки зрения, чем в минералогии.

Гораздо более полные совпадения неизбежны для твердых минералов, где нередко один и тот же объект, с очень близких точек зрения будет рассматриваться в петрографии и минералогии, так как то, что петрографы называют простой горной породой, напр., мрамор или мел, более или менее чистый  $\text{CaCO}_3$ , будет минералом, только встреченным в земной коре в одном месте в очень больших массах.

Есть исследователи, которые на этом основании выбрасывают эти объекты (гипсы, ангидриды, кальциты, кварцы, каменные угли, лед и т. д. в больших массах) из круга ведения минералогии. Однако, такой случайный признак, как непосредственное участие минерала в составе значительной части земной коры, конечно, не может служить основанием научного разделения, ибо в тех случаях, когда тот же минерал встречается в смеси с другими телами в малых количествах, даже эти исследователи его считают минералом. Проведение этого взгляда приводит только к целому ряду недоразумений, мешает точному изучению химии земной коры и вызывает лишнюю работу кажущейся точности. Поэтому, в этой книге все *простые горные породы буду рассматривать как случаи массового нахождения минерала*, при чем мы увидим, что и для всех прочих минералов имеет значение определение их максимальных возможных скоплений, и что такое массовое нахождение минерала дает нам ценные данные для суждений о химическом процессе.

Точно также и минералы не видные глазу, микроскопические, остаются минералами и также не могут быть выброшены из научного изучения минералогии, как это, без всяких теоретических обоснований, из за привычки, иногда делают минералоги.

**66.** Нельзя отрицать, что и при всем том нам не раз придется сталкиваться с затруднениями при определении понятия минерала. Одно время считали, что минерал представляет из себя тело, которое физически однородно и состоит из одного химического соединения. К этому определению подходит большинство хорошо изученных минералов, будет ли это жидкий раствор (напр., морская вода или нефть), твердый раствор (напр., дымчатый кварц), определенное химическое соединение (горный хрусталь  $\text{SiO}_2$ ), изоморфная смесь, как плагиоклаз и т. д. Однако, есть случаи, где мы несомненно имеем дело с минералом, совершенно индивидуализированным продуктом химических реакций, даже кристаллом, который или химически, или физически неоднороден в своих частях—это, напр., так называемые структуры—зонарная (некоторые полевые шпаты) или пертитовая (пертит) и т. д.

Мне придется еще раз коснуться этих явлений. Но пока мы должны признать, что физическая или закономерная механическая смесь химических соединений—помимо чистых химических соединений может быть минералом; при чем главным основанием выделения их в определенный минерал является то обстоятельство, что они как таковые, как неоднородная, но закономерная *смесь*, являются продуктом природных химических реакций земной коры, их характеризуют. И, очевидно, при изучении этих процессов они должны явиться объектом минералогии.

Во всем дальнейшем изучении мы будем называть минералом—*определенный индивидуализированный молекулярный продукт природных химических реакций, будет ли этот продукт чистым химическим соединением или морфологически закономерной смесью химических соединений.*

Огромный сдвиг в наших представлениях в области физики и химии, который произошел в 1911—1921 годах в связи с выяснением значения и структуры атома, создание физики атомов (атомной физики) и химии атома (учение о радиоактивности и геохимии) позволяет более точно определить область минералогии—она является *молекулярной химией земной коры*<sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Очень ярко происходящую перемену идей в этой области выражает в своей новой книге Зоммерфельд—См. Sommerfeld. *Atombau u. Spectrallinien*. 2- te Aufl. 1921.

## 2. Горные породы.

**67.** Принимая подобное определение минерала, мы встречаемся с особенностями нахождения минералов только в литосфере, так как в других фазовых оболочках земной коры никаких затруднений в этом отношении быть не может, благодаря свойствам газа и жидкости. Благодаря их подвижности, и газовая и жидкая оболочки земной коры в значительной мере *однородны* на огромном протяжении; более резкая неоднородность, вызываемая причинами общего характера, сказывается на всем нахождении газа или жидкости, приводит к образованию новых оболочек. Такие новые оболочки, как мы видели, очень резко выражены для газов (§ 26).

Наши обычные представления о газах, основанные на опытах наших лабораторий, требуют поправок, когда мы переходим к земным условиям. Здесь мы видим огромные массы газов, нередко, как в нашей земной атмосфере, ограниченные только своими собственными молекулярными свойствами. Для таких огромных газовых скоплений мы и для газов можем говорить о их внешней форме, о их морфологии; но такие скопления различаются лишь послыбно, на всем протяжении нашей планеты.

В пределах всякой жидкой или газовой оболочки всякое наступившее нарушение однородности от местных причин может долго удерживаться только в исключительных случаях <sup>1)</sup>. Все вещество этих оболочек связано всегда постепенными переходами с окружающими его частями, находится в движении, и в общем всякая разнородность выравнивается. В атмосфере и гидросфере другие жидкие и газообразные минералы, т. о., не могут долго существовать и быстро смешиваются с основной жидкой или газообразной массой. Совершенно иное наблюдается для твердой фазовой оболочки — литосферы.

Она состоит из отдельных, резко химически отличных друг от друга участков, образованных правильно и тесно между собою связанными минералами. Такие участки литосферы, отличающиеся друг от друга по своему происхождению, химическому и минералогическому составу и физическому характеру, называются *горными породами*. Горные породы составляют главную массу земной коры.

Изучение горных пород не входит в задачи минералогии, оно является делом новой отрасли геологии, возникшей во второй половине XIX столетия — петрографии, быстро разрастающейся и очень обширной.

Знание ее является для минералога столь же необходимым, как знание химии и физики. Образуясь в горных породах, являясь всегда их

<sup>1)</sup> В случае устойчивого равновесия, напр., сероводородный раствор в нижних слоях Черного моря.

составною частью, очевидно, минералы в своем распространении в земной коре теснейшим образом обусловлены происхождением, структурой, химическим составом горных пород, в которых они находятся.

В нижеследующих параграфах я вкратце остановлюсь, поэтому, на некоторых свойствах горных пород, познание которых нам необходимо для понимания хода минералогических процессов.

**68.** Можно различить по химическому составу, условиям образования, структуре три главных *типа* горных пород, строящих земную кору:

- породы *массивные*
- » *кристаллически-слоистые*
- » *осадочные и обломочные* <sup>1)</sup>.

Из этих пород породы массивные составляют по крайней мере 95% по весу других твердых пород, тогда как на долю двух других приходится всего 5%.

Эти три типа в известной мере отвечают тем термодинамическим оболочкам, о которых была речь в § 29, и мы можем расположить их в таком порядке, где эта связь проявляется особенно ясно.

- |                                  |                         |     |   |   |   |
|----------------------------------|-------------------------|-----|---|---|---|
| 1. Осадочные и обломочные породы | характерны для оболочки | 2 В |   |   |   |
| 2. Кристаллически слоистые       | »                       | »   | » | » | 3 |
| 3. Массивные                     | »                       | »   | » | » | 4 |

Необходимо иметь в виду, что массивные горные породы не являются характерными только для 4-ой оболочки, так как они образуются из магмы, и в жидком виде при ее движении они попадают в другие оболочки, где застывают, превращаясь в горные породы, при чем, внося постороннюю энергию из 4-ой оболочки, они, очевидно, не отвечают равновесиям оболочек 2 В и 3-ей, где находятся.

Однако, и такое распределение горных пород представляет только идеальный случай, который мог бы наблюдаться, если бы в нашей планете не было причин, которые бы переводили вещество из одной оболочки или частей оболочки в другую. Мы видели и сейчас из передвижения магмы и из общих указаний, что этого нет, и что наоборот геологическими процессами вещество постоянно переходит из одной оболочки в другую, в ту и другую сторону.

Поэтому мы во всех оболочках можем встретить все горные породы. Однако, попавши в чуждую им оболочку, они неустойчивы и более или

<sup>1)</sup> Я оставляю в стороне иногда соединяемую с массивными горными породами жидкую или полужидкую *магму*, с которой они генетически связаны. Магма представляет повидному особую фазовую оболочку.

менее быстро изменяются, при чем минералы их обычно входят в новые тела, и породы переходят в тип горных пород, отвечающих данной оболочке. Этот процесс совершается в ту и другую сторону неуклонно и постоянно в течение геологического времени, при чем он идет гораздо быстрее при переходе от осадочных пород к магме, от верхних оболочек вниз, чем от нижних вверх. Поэтому мы гораздо чаще встречаем включения пород 3-ей или 4-ой оболочки во 2-ой, чем наоборот. Для полного изменения массивных пород в новые тела, отвечающие осадочной оболочке, необходимы долгие смены тысячелетий, тогда как магматически резорпции быстро изменяют попавшие туда обломки верхних оболочек земной коры.

**69.** Массивные породы, вполне согласно их количественному преобладанию, представляют собой наиболее важный элемент, так как, во-первых, из них прямо или косвенно образовались породы кристаллически слоистые и осадочные, и во-вторых, химический состав этих пород в общем соответствует валовому составу литосферы, что явно указывает на огромную их распространенность в земной коре. Все массивные породы были некогда в магматическом состоянии, т. е. представляют собою расплавленную жидкую или полужидкую силикатовую магму, температура которой превышает 1200°С.

Массивные горные породы с точки зрения особенностей своего генезиса и физической структуры (отчасти и химического состава) подразделяются на *вулканические* (эффузивные) и *плутонические* (интрузивные).

Вулканические горные породы образовались из магм, вышли в жидком состоянии на земную поверхность— в кору выветривания и довольно быстро застыли здесь при *низком давлении* и относительно *низкой температуре*, при участии и влиянии атмосферы, гидросферы, вещества поверхностного слоя литосферы.

Эти породы нередко содержат вулканическое стекло; для них характерно присутствие пустот вследствие испарения находившихся в них газов или высыхания содержащихся в них жидкостей.

Породы эти при застывании потеряли многочисленные вещества, удалившиеся в растворах или в парообразном состоянии. Они относительно быстро застыли, вследствие большой разницы между их температурой и температурой окружающего пространства.

Примером подобных пород могут служить лавы современных вулканов, трахиты, базальты и т. п.

*Плутонические* горные породы также образовались из магм, но при своем подъеме ближе к земной поверхности не успели выйти на земную поверхность и медленно застыли в глубинах земной коры при более высокой температуре и относительно высоком давлении. В них сохранились в значительной части газообразные—при температуре магмы—

продукты, перешедшие при застывании в новые твердые соединения или изменившие соединения раньше образовавшиеся. Вследствие медленного застывания они имеют более ясную кристаллическую структуру и не заключают силикатового стекла.

К числу таких пород относятся гранит, гранодиорит, сиенит, дунит и т. п.

Плутонические породы можно разделить на две группы, во многом различные, хотя на эти различия обычно не обращают внимания— 1) породы, застывшие в верхних частях метаморфической оболочки (в третьей оболочке)—*штабиссальные породы* и 2) породы, застывшие в нижней части метаморфической оболочки или ниже ее у магматической оболочки—*интрузивные породы*.

70. Массивные породы в общем отвечают среднему валовому составу литосферы (§ 35), т. е. в них преобладают элементы: O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, H, Ti.

Но эти элементы распределены в них неодинаково. На этом основании, приняв во внимание два господствующих элемента—O и Si, количество которых для среднего их состава превышает 75%, можно разделить все массивные породы на три группы—*кислые, средние и основные массивные породы*<sup>1)</sup>.

1. *Кислые массивные породы* содержат более 65—66% SiO<sub>2</sub>. В этом случае SiO<sub>2</sub> находится в избытке и выделяется в этих породах в свободном состоянии в виде кварца, тридимита или богатого кремнеземом стекла.

Цифра 65—66% для процентного содержания SiO<sub>2</sub> была найдена эмпирически; исходили из наблюдения выделения свободного окисла кремния, не соединенного с другими окислами. Позже нашли и теоретическое этому объяснение в химических свойствах кремния. 65—66% кремнезема—представляют макимальный его предел, который может содержаться в кремнекислых—простых и сложных—соединениях, как искусственно полученных, так и природных—для тех металлов, которые наблюдаются в заметном количестве в массивных горных породах.

Так, обычными окислами, способными соединяться с SiO<sub>2</sub>, в массивных горных породах являются Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O и H<sub>2</sub>O.

Как мы увидим далее более подробно, все их соединения с химической точки зрения резко распадаются на две группы:

1) Простые силикаты—производные SiO<sub>2</sub> (метасиликаты и ортосиликаты) и

<sup>1)</sup> Сейчас входят в жизнь другие названия: силические (от Sal—Si и Al) и фермические (от Fe и Mg). Промежуточные породы будут сальфермические. В общем здесь различие лишь в названиях.

2) Сложные силикаты—производные комплексных окислов кремнезема (алюмосиликаты, феррисиликаты и т. д.).

Количество  $\text{SiO}_2$  в простых силикатах в наиболее обычных из них не превышает 60% (для энстатита— $\text{MgSiO}_3$ —59.9%) и б. ч. доходит до 55%. Для алюмосиликатов эти числа значительно больше, так, для наиболее богатых кремнием минералов (из породообразующих) для  $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$  (ортоклаз и микроклин)—64.8%, для  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$  (альбит)—68.7%. Однако, альбит обычно является в изоморфной смеси с анортитом— $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  (33,7 %  $\text{SiO}_2$ ), так что для наиболее богатых кремнеземом алюмосиликатов процент  $\text{SiO}_2$  не превышает 65—66%. Количество кремнезема в феррисилакатах значительно меньше <sup>1)</sup>.

Отсюда совершенно ясно, что когда в магме находится больше 65%  $\text{SiO}_2$ , избыток его не соединяется с другими окислами, а выкристаллизовывается в свободном состоянии. При ее застывании, следовательно, получается *кислая порода*. Таковы граниты, сиениты и т. п.

2. *Средние породы* представляют искусственную промежуточную группу, заключающую кремнезем в пределах между 55 и 65%. В них тоже часть—но меньшая—кремнезема выделяется в свободном состоянии.

3. *Основные горные породы* содержат меньше 55—50% кремнезема. Обычно в них господствующую роль играют простые силикаты, и полуторные окислы (особенно  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) не соединены с  $\text{SiO}_2$ . Свободного кремнезема в них нет. Таковы перидотиты, дуниты, базальты, габбро и т. п. <sup>2)</sup>.

Хотя между этими породами и есть переходы, но в общем такое деление тесно связано с очень важными химическими свойствами господствующих на земле химических элементов и не может, поэтому, быть оставляемо без внимания.

**71.** Особенно важно деление на кислые и на основные породы. Мы уже видели, что оно, повидимому, проявляется и в характере земных оболочек, что ниже обычной гранитной оболочки лежит магматическая область, химически отвечающая основным породам.

Нет никакого сомнения сейчас, что кислые и основные породы являются по количеству главной составной частью земной коры. Это впе-

<sup>1)</sup> Как среди искусственных, так и среди естественных алюмосиликатов и силикатов наблюдаются тела с значительно большим количеством  $\text{SiO}_2$ , но они или не встречаются в больших массах, т. е. не являются породообразующими, или совсем не встречаются в природе, как, напр., один из наиболее богатых кремнием алюмосиликатов  $\text{Li}_2\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{20}$  (78.49%  $\text{SiO}_2$ ).

<sup>2)</sup> Разница между этими породами ясна и в тех случаях, когда кремнезем не выделяется в виде отдельных минералов, но входит в состав силикатового стекла.

чатление вытекало из первых геологических наблюдений, было высказано уже давно и видно хотя бы потому, что средний состав кислых массивных пород отвечает в общих чертах среднему валовому составу литосферы—гранитной оболочке земной коры. Несомненно, когда будет закончена геологическая съемка земного шара, над которой идет почти столетняя работа, мы получим в этом отношении вполне точные цифры. Некоторое представление об этом мы, однако, можем иметь и теперь. Американский ученый Дэли (1914) пытался вычислить распространенность горных пород на основании С-Американской геологической съемки. Из общей территории С-Амер. Соед. Штатов в 3.030.000 квадрат. миль, 159.000 квадрат. миль геологически точно картированы. На поверхности земли из этих 159.000 квадрат. миль занято массивными породами 16731.6 квадрат. миль, из них 6607.5 квадрат. миль плутоническими и 9715.0 вулканическими <sup>1)</sup>. Несомненно, и под остальными осадочными слоями картированной поверхности Штатов выходят массивные породы; мы их можем оставить в стороне—они почти неизвестны, но нет никаких причин, чтобы их характер был иной, чем той их части, которая выходит на земную поверхность и доступна нашему изучению. Оказывается, что в этих частях резко преобладают немногие породы—кислые для плутонической части и основные для вулканической. Так, мы имеем из плутонических пород 5876 квадрат. миль покрытыми гранитами и гранодиоритами, т. е. 88.9%—на долю всех остальных плутонических пород приходится 11.1%, при чем легко убедиться, что этот процент еще уменьшится, т. к. объем гранитных и гранодиоритовых пород значительно больше объема других пород. В этом распределении ясно сказывается характер наиболее близкой к нам гранитовой оболочки земли. Химический характер этих пород дан в § 72.

Совершенно иную картину представляют вулканические породы. Здесь из 9715.0 кв. миль заняты кислыми породами, отвечающими гранитам, риолитам, 2146.7 кв. миль, и основными (базальтами и близкими к ним пироксеновыми андезитами) 7175.0. Таким образом, здесь основные, главным образом, базальты (3966.0 кв. миль), составляют по площади 73.7%.

**72.** Если мы обратимся к другим частям земного шара, и к другим геологически изученным областям, мы увидим в общем ту же картину: резкое преобладание кислых плутонических пород и значительное преобладание основных вулканических. Совершенно ясно, что в общей массе количество вулканических пород ничтожно по сравнению с массой плуто-

<sup>1)</sup> 409.1 занято промежуточной группой, не играющей большой роли в истории земной коры (диабазы, кварцевые порфиры и т. д.).

нических, вулканические породы наблюдаются только в осадочной оболочке— только в коре выветривания, не глубже 1 килом. от земной поверхности— а плутонические идут до глубины в несколько килом., до 16-ти и глубже.

В виду таких правильностей, которые начинают сейчас выясняться, важно иметь в виду средний валовой химический анализ этих главных плутонических и вулканических пород, т. к. он дает понятие о химическом составе той среды, в которой идут химические реакции литосферы — аналогично тому, как валовой химический состав атмосферы или океанов дает нам понятие о химической среде тропосферы и гидросферы.

На основании сводок Озанна, Клерка, Вашингтона, Левинсон-Лессинга, Дэли состав этих пород выражается следующими числами их главных составных частей, при чем в основу исчислений положены сотни лучших анализов из разных мест земной коры.

*Плутонические породы.*

	Граниты	Гранодиориты
SiO <sub>2</sub>	69.92	65.10
TiO <sub>2</sub>	0.39	0.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.78	15.82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.62	1.64
FeO	1.67	2.66
MnO	0.13	0.05
MgO	0.97	2.17
CaO	2.06	4.66
BaO	0.08	—
SrO	0.01	—
Na <sub>2</sub> O	3.28	3.82
K <sub>2</sub> O	4.07	2.29
H <sub>2</sub> O	0.78	1.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24	0.16

*Вулканические породы.*

	Риолит	Базальт	Андезитавгит
SiO <sub>2</sub>	72.62	49.06	57.50
TiO <sub>2</sub>	0.25	1.32	0.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.77	15.70	17.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.29	5.38	3.78
FeO	0.90	6.37	3.62
MnO	0.12	0.31	0.22

	Риолит	Базальт	Андезитавгит
MgO	0.38	6.17	2.86
CaO	1.43	8.95	5.83
Na <sub>2</sub> O	3.55	3.11	3.53
K <sub>2</sub> O	4.09	1.52	2.36
H <sub>2</sub> O	1.53	1.62	1.88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.45	0.30

Конечно, эти цифры дают средние величины, колебания здесь больше, чем для состава воздуха или морской воды — но все же они дают понятие об общих главных средах массивных пород, в которых идет образование огромного числа минералов. Это как бы 5 разных химических средин твердой литосферы. Но это не состав магмы.

Нельзя забывать, что в более глубоких частях земной коры состав ее приближается к составу базальта — опять таки потерявшего часть своих летучих веществ.

### 73. Кристаллически слоистые (метаморфические) горные породы.

Кристаллически слоистые (метаморфические) горные породы суть измененные позднейшими процессами массивные или осадочные (обломочные) породы. Эти изменения шли при высоком давлении, достигавшем сотен и тысяч атмосфер и при температуре, не доходящей до точки плавления породы. Исходный твердый материал изменялся частью только под влиянием изменения термодинамического поля существования породы, но частью связан с привнесом газообразных (парообразных) веществ и водных растворов. Нередки изменения, связанные с вхождением (инъекциями) расплавленных массивных пород. Книзу это влияние привнесенного расплавленного или полурасплавленного вещества должно быть особенно сильно, и породы метаморфические незаметно сливаются с магматическими (массивными) породами или с магмой.

Кристаллически слоистые породы характеризуются с морфологической точки зрения следующими признаками.

1. Постоянная компактность и слоистость расположения составляющего их материала. Рыхлые продукты никогда не встречаются.
2. Постоянная кристалличность всех их составных частей. Никогда в них не наблюдается стекловатых участков.
3. Богатство минералами (силикаты, алюмосиликаты, феррисиликаты, сложные ортофосфаты и т. д.), заключающими конституционную воду, т. е. воду, выделяемую из минерала лишь при нагревании его до температуры, превышающей несколько сот градусов.

Слоистость этих пород не может считаться для них вторичным признаком, ибо она тесно связана с генезисом этих пород. Она вызвана огромным дав-

лением, существовавшим при их образовании. Во время роста и образования составляющих их минералов образующиеся пластинчатые (слюды, хлориты, хлоритоиды, глины, кианиты, тальки и т. п.) или иглистые (роговые обманки и т. п.) кристаллы располагаются более или менее перпендикулярно к направлению наибольшего давления. Очевидно, в огромном большинстве случаев, этим направлением будет направление равнодействующей силы тяжести. В ненарушенной по своему положению кристаллически слоистой породе кристаллы своими развитыми плоскостями лежат горизонтально, т. е. расположены перпендикулярно отвесу—земному радиусу.

Чем больше давление, тем резче проявление его влияния на структуру породы. Оно начинает сказываться уже на относительно небольшой глубине от земной поверхности. Но в верхних частях метаморфической оболочки явления такой слоистости выражены нередко слабо (например, в кристаллических известняках), и мы имеем все переходы в осадочно-обломочные породы.

74. Образование этих пород, таким образом, в чрезвычайной степени обусловлено давлением. Это резко отражается и на их химическом составе. В них выделяются соединения, химически конденсированные с большим удельным весом, т. е. малым молекулярным объемом. Особенно ярко это сказывается в случаях полиморфизма.

С этой точки зрения в земной коре, в метаморфической оболочке можно выделить две области: верхнюю и нижнюю ее части. В нижней особенно резко виден такой характер составляющих ее минералов (Бекке).

Такие совершенно особые условия образования этих пород резко отражаются на характере составляющих их минералов. Среди них находится очень много тел, которые мы не умеем сейчас воспроизводить в наших лабораториях. Так мы не умеем воспроизвести хлориты, хлоритоиды, ставролиты и т. п. Ибо мы не умеем получать соединения под теми огромными давлениями, при каких эти минералы получаются в природе. Мы имеем здесь много случаев, когда реакция идет между твердыми компонентами, связана с их молекулярной перегруппировкой, т. е. с явлениями, мало изученными в физикохимии. Наблюдательный метод исследования играет в этой области и сейчас первостепенную роль.

Но кристаллически слоистые породы образуются не только под влиянием давления. Могущественную роль играют явления *контакта*, частью связанные с инъекцией магматических пород, частью с пластичностью твердых, разнородных средин (пород), под высоким давлением, при относительно высокой температуре. Нижние части осадочных пород, повидимому, почти везде изменены не только обычными процессами метаморфизма термодинамического характера, но и обволачены проникшей в них магмой, вызвавшей образование минералов контакта.

**75.** По своему химическому характеру кристаллически слоистые породы занимают промежуточное место между массивными и осадочными породами.

Общий валовой состав их отвечает валовому составу массивных пород, среднему составу литосферы. Как мы видели, этот состав приблизительно отвечает среднему составу кислых, гранитных пород.

Состав осадочных пород (§ 76) резко отличается от состава массивных пород, т. к. они являются их остаточным твердым продуктом, выщелоченным водою и измененным благодаря выветриванию. Но эти потерянные части восстанавливаются в метаморфической оболочке приansom их сверху и снизу.

Благодаря этому могут получиться морфологически близкие метаморфические породы разного происхождения. Так, напр., кристаллически слоистые породы, состоящие из кварца, полевого шпата (главным образом, ортоклаза) и слюды (из группы биотита), называются *гнейсами* и составляют огромную часть метаморфической оболочки, концентрируясь, главным образом, в ее нижней части. Эти породы могут образовываться, благодаря давлению из гранитов, минералогический состав которых тождественен с гнейсами. Но те же гнейсы могут явиться окончательным продуктом изменения аркозовых песчаников <sup>1)</sup> или глинистых сланцев. В таком случае можно обыкновенно различить их химически, так как такие гнейсы (*парагнейсы* <sup>2)</sup>) обычно значительно более бедны калием (и натрием). Химический анализ показывает резкое различие по химическому составу, при внешнем сходстве. Количественные соотношения между составляющими гнейсе минералами нарушены. Это ярко видно, напр., на анализе Иванса парагнейса из Квебека в Канаде, если сравнить их с гранитами (§ 72):

SiO <sub>2</sub>	61.96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.73
FeO	4.60
CaO	0.35
MgO	1.81
Na <sub>2</sub> O	0.79
K <sub>2</sub> O	2.50
H <sub>2</sub> O	1.82
TiO <sub>2</sub>	1.66
FeS <sub>2</sub>	4.33

<sup>1)</sup> Аркозовые песчаники состоят из смеси зерен полевого шпата и кварца.

<sup>2)</sup> Гнейсы, происшедшие из гранитов, называются *ортогнейсами*.

Но такое различие наблюдается далеко не всегда; и очень часто чрезвычайно трудно отличить ортогнейсы от парагнейсов. Об этом идут постоянные споры.

Однако, такое резкое изменение осадочных пород наблюдается только в конечной стадии их изменения. Очень часто — особенно в верхней части метаморфической оболочке — они изменены значительно меньше. Между осадочными и кристаллически слоистыми породами есть переходы, как они есть и между массивными и кристаллически слоистыми породами.

Благодаря этому здесь наблюдаются породы не только с господством кремния, алюминия, железа, как это мы видим в массивных породах, но и таких элементов, как Ca, Mg, или таких как C, Cl, P, S, роль которых в массивных породах совершенно отходит на второе место. В некоторых случаях получаются этим путем породы, резко отличные от массивных пород, но схожие с обломочными, как, напр., кварциты ( $\text{SiO}_2$ ), мраморы ( $\text{CaCO}_3$ ), доломиты ( $\text{Ca, Mg, CO}_3$ ), глинистые сланцы и т. д. Эти породы сосредоточены, главным образом, в верхней части метаморфической оболочке.

На ряду с такими породами наблюдаются другие, минералы которых характерны только для кристаллически слоистых пород и не образуются ни в областях создания массивных, ни осадочных пород. Таковы сланцы хлоритовые, тальковые, хлоритоидные и т. д.

**76. Осадочные и обломочные породы.** Осадочными и обломочными породами называются собравшиеся вместе значительными массами продукты изменения массивных, кристаллически слоистых (метаморфических) или ранее образовавшихся осадочных пород. Они изменяются главным образом под влиянием атмосферы и гидросферы и связанных с ними процессов физикохимических и биологических, идущих на суше или в океане. Они называются обломочными породами, когда в их образовании играют главную роль механические процессы раздробления, осадочными — когда господствуют процессы, связанные с выделением и сортировкой их составных частей. При этом осаждение может идти из растворов (*химические осадки*, напр., некоторые известняки (т. е.  $\text{CaCO}_3$ ), как альм или гажа на дне болот и озер и т. п.). Осаждение может идти деятельностью ветра (*золотые осадки*), напр., некоторые лессы (мергели), и воды из механически переносимых ею частиц (*водные осадки*, напр., глины).

Многочисленные факторы действуют разрушительно на горные породы на границах разных фазовых оболочек и способствуют созданию осадочных и обломочных пород. Вода, содержащая кислород и угольную кислоту, метеорные осадки, кислород воздуха, организмы, скачки температур, текущая вода, приливы и отливы и движения моря, ветры

и т. п. — все это механически и химически действует на твердые породы, разрушает старое, создает новое. Процесс идет на земной поверхности, неуклонно и непрерывно миллионы лет. Горные породы измельчаются и вновь цементируются; составляющие их силикаты и алюмосиликаты распадаются, ибо эти соли в среде, богатой  $H_2O$ ,  $CO_2$  и  $O$ , являются неустойчивыми; они переходят в новые соединения; связь между их ангидридами и металлическими основаниями прекращается. Силикаты и алюмосиликаты переходят в гидраты (свободные слабые кислоты), глины, и ангидриды — в опалы, кварцы. Освободившиеся щелочи и щелочные земли дают новые тела — карбонаты, сульфаты, хлориды, фосфаты, селитры и т. д. — и переходят или в растворы, или в организмы. Железо, в конце концов, собирается в виде гидратов окиси железа (лимониты и т. д.). Этим путем получают песчаники (преобладает  $SiO_2$ ), глины (кремнеалюминиевые кислоты), известняки ( $CaCO_3$ ), доломиты ( $Ca.Mg CO_3$ ), мергеля (смесь известняков с глиной), гипсы ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) и т. д.

При механическом разрушении этих пород или пород массивных и метаморфических образуются *рыхлые породы*, пески разного характера. В песках обычно преобладают наименее меняющиеся при выветривании минералы пород и наиболее твердые (главным образом кварц —  $SiO_2$ ), но могут быть пески и иного состава (напр., известковые в пустынных местностях, на островах кораллового происхождения и т. д.). Рыхлые породы могут образовываться и путем осадков, химического и биохимического происхождения, напр., диатомиты (опалы из диатомовых водорослей), снег высоких широт и т. д.

Эти рыхлые породы могут цементироваться уже в коре выветривания, но еще резче превращение их в твердые породы идет в области метаморфизма. В коре выветривания их цементом является  $CaCO_3$ ,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ,  $Fe_2O_3$  ( $HO$ )<sub>6</sub>, опалы и т. д. (конгломераты, аркозовые, песчаники и т. п.).

Характерными условиями образования осадочных пород являются низкая температура и низкое давление, в среднем отвечающие тем пределам, которые наблюдаются в гидросфере и на поверхности литосферы. Огромную роль, до сих пор недостаточно учитываемую, играет в этом процессе живое вещество, т. е. биосфера.

Мощность осадочных пород в среднем не превышает немногих километров. Уже на глубине 1 — 2 километров они попадают в область метаморфических процессов, чуждых условиям их образования, т. к. в этой среде температура значительно выше средней температуры земной поверхности (или тем более гидросферы), и в ней отсутствует кислород. Поэтому только верхняя часть их на глубину до 1 — 2 кил. относится к коре выветривания. Очень часто не различают эти различные поло-

жения осадочных пород в земных оболочках, соединяют их целиком с корой выветривания, и этим вызывают значительные затруднения в толковании геологических явлений.

Общая мощность осадочных пород очень значительна и захватывает огромную часть метаморфических пород. Едва ли она меньше тех 16 километров, которые мы изучаем в минералогии. Нижние их части, идущие должно быть глубже, превращены в кристаллически слоистые породы (§ 75).

В тех случаях, когда они неизменены или мало изменены, они очень резко отличаются по химическому составу от массивных пород, как это видно уже по кристаллически-слоистым породам верхней метаморфической оболочки, где они относительно мало изменились (§ 73). В этих породах нередко господствуют Ca, S, P, H, C, Mg, F, Na, Cl — никогда не достигающие подобной концентрации в массивных породах.

**77. Общие замечания.** Таким образом первичными породами земной коры являются массивные породы. Результатом их изменения являются породы кристаллически-слоистые и обломочно-осадочные. Процесс этот идет непрерывно и неуклонно в связи с переходом массивных пород в условия чуждых им термодинамических оболочек.

Так, напр., если бы гранит вследствие каких-либо перемещений слоев земной коры стал подвергаться очень высокому (часто боковому) давлению, то в нем будут происходить молекулярные перемещения в твердом состоянии, и он, в конце концов, перейдет в кристаллически-слоистую породу - гнейс (ортогнейс § 75).

Если те же самые гранитные массивы, вследствие денудационных или каких-либо других процессов, обнажаются, выходят на земную поверхность, то на них начинает действовать гидросфера или атмосфера, минералы, их составляющие, распадаются и изменяются, и они дают начало осадочным или обломочным породам.

Как уже указывалось, осадочные и обломочные породы в свою очередь под влиянием повышения давления и температуры, выхода из области воздействия атмосферы и гидросферы, переходят в породы кристаллически слоистые. Глина переходит в глинистые сланцы, а позже свободная кремнеалюминиевая кислота (каолин и т. п.), ее составляющая, дает слюдяные или другие сложные тела (слюдяной сланец и т. п.). Известняки переходят в кристаллические известняки, в мраморы, в доломитизированные мраморы, в чиполины<sup>1)</sup> и т. п. Как мы видели, эти процессы особенно резко выражены для нижней границы осадочных и обломочных пород.

---

<sup>1)</sup> Чиполинами называются мраморы, заключающие правильно расположенные листочки слюды, талька и т. п.

По мере углубления осадочные породы все более и более изменяются и становятся новыми, непохожими на исходные, образованиями.

В долгие годы геологической истории более древние осадочные породы неизбежно подвергаются влиянию новых термодинамических условий метаморфической оболочки или тому контактному и резорбирующему изменению, какое происходит вследствие воздействия магмы, в этих условиях проливающей в метаморфическую оболочку, или образующихся из нее плутонических пород. И в том, и в другом случае осадочные и обломочные породы, как таковые, исчезают и переходят в породы кристаллически - слоистые.

Чрезвычайно характерно, что эти изменения совершенно идентичны на всем протяжении геологической истории земли, что указывает на неизменяемость во времени тех химических процессов, которые мы изучаем в минералогии.

Вторичное происхождение осадочных пород — из массивных и кристаллически слоистых ясно и несомненно. Но долго не был ясен вторичный характер всех кристаллически слоистых пород.

Одно время их все — или некоторые наиболее своеобразные их части (напр., гнейсы) — считали первичными и принимали за первичную кору застывания или за своеобразный химический осадок гипотетичного, отличного от современного, первичного океана.

Однако, по мере развития науки выяснилось и было доказано вторичное происхождение из массивных и осадочно-обломочных пород большинства кристаллически слоистых.

Случай кристаллически слоистых пород, которые сейчас не могут быть точно сведены к этому объяснению, быстро и неизменно уменьшаются, и, повидимому, не будет ошибкой, признать их все за вторичные.

Но неясен и первичный характер массивных пород, ибо между ними и кристаллически слоистыми породами есть все переходы. Нижние части пород метаморфической оболочки — породы кристаллически слоистые — расплавляются, химически и морфологически изменяются и переходят в магмы и породы массивные.

**78.** В сущности мы встречаемся здесь с гораздо более общими вопросами о том, имеем ли мы вообще в минералогии дело с земным веществом, которое попадает впервые в изучаемую в минералогии земную кору из ее более глубоких участков или из еще более глубоких недр земного сфероида (барисферы) (§ 30). Не были ли на протяжении геологического времени теперешние массивные породы когда то осадочными и обломочными, может быть даже не раз в течение долгой геологической истории? Или массивные породы действительно приносят на земную поверхность и в метаморфическую оболочку вещество новое, не участво-

вавшее в процессах этой оболочки и коры выветривания? Или они состоят из смеси этих веществ?

Определенного ответа на эти вопросы мы дать не можем. Из всего комплекса известных данных, кажется мне, скорее всего вытекает впечатление, что мы почти не имеем в доступной нашему изучению области земной коры вещества, которое бы раньше не участвовало в таких же реакциях и которое вновь возвращается в прежнее состояние. Сомнение может быть только по отношению к некоторым газам (азот, благородные газы).

Два главных обстоятельства заставляют склоняться к этому мнению: 1) общий характер подавляющего большинства земных реакций, как круговых (§ 57), который заставляет думать, что наблюдаемый круговорот продолжается на протяжении всего наблюдаемого времени, т. е. на протяжении всей геологической истории земли (§ 60) и 2) полная метаморфизация осадочных и обломочных пород до альгонкских эпох и несомненное изменение их в породы кристаллически слонстые и может быть в массивные. Этот переход совершился в огромном масштабе и повидимому нацело, при чем из сравнения наблюдаемых метаморфизованных пород с породами осадочными и обломочными приходится допустить, что длительность геологических эпох, осадочные и обломочные породы коих метаморфизованы и нацело изменены, была много больше длительности геологических эпох от альгонкской или кембрийской до нашего времени. На ту же длительность предыдущих геологических периодов указывает и изучение эволюции органического мира: в кембрийскую эпоху мы встречаемся с такой сложностью форм и организаций живого вещества, которая неизбежно указывает на длительную, нам неизвестную, историю организованного мира в докембрийские геологические эпохи. Не менее сложной является и мало известная жизнь альгонкской эры.

Имея это в виду, мы едва ли можем говорить, как это иногда делается, о приходе на земную поверхность или в метаморфическую оболочку, или в атмосферу так называемого «ювенильного» вещества, еще не бывшего в земной коре, впервые принимающего участие в ее химических реакциях. И в то же время необходимо в целом ряде минералогических вопросов отличать вновь входящее в химические реакции вещество от вещества старого.

Поэтому, оставляя в стороне генезис так называемого ювенильного вещества, я буду употреблять предложенные в этом смысле австрийским геологом Зюссом (E. Suess. 1831—1910) термины в несколько ином, чем он это делал, понимании, а именно я буду называть вещество (напр., минерал):

*ювенильным*, когда оно приходит из (или образовалось в условиях) магматической оболочки.

*фреатическим*, когда оно приходит из метаморфической оболочки, *вадозным*, когда оно приходит из коры выветривания.

**79. Литература.** Литература о горных породах-петрографии и петрогенезиса, огромна и постоянно растет, особенно с тех пор; как геология охватила своим анализом большие пространства земной коры и как выяснилось значение петрографии в целом ряде вопросов практической важности, напр., о рудных минералах.

С химико-минералогической точки зрения, в связи с вопросами, поднимаемыми в этом отделе и во всем дальнейшем изложении, можно указать на следующие работы:

C. F. Naumann. Geognosie, I—III, L. 1838—1862. C. Bischoff. Lehrb. d. chem. u. phys. Geologie. I—IV. Bonn. 1863—1871. Fouqué et Michel Levy. Minéralogie micrograph. P. 1879. J. Roth. Allgem. u. chemische Geologie. I—II. B. 1879—1891. Teall. British Petrography. Birm. 1888. F. Zirkel. Lehrbuch der Petrographie. 2-te Aufl. I—III. L. 1893—1894. J. Wallter. Einleitung in d. Geologie. Jena 1893—1894. Van Hise. Principles of Americ. precamb. geology. «XVI Ann. Rep. of Un. St. Geol. Survey». W. 1896. Ф. Левинсон-Лессингъ. Изслѣдованія по теорет. петрографии. Спб. 1898. Osann. Beiträge zur chem. Petrographie. I—II. 1903—1904. W. Cross, J. Iddings, L. Pirssons, H. Washington. Quantit. Classification of igneous rocks. Ch. 1903. Vogt. Silikatschmelzlösungen. I—II 1904—1905. Van Hise. A treatise on metamorphism. W. 1904 (Monographs of Un. St. Geol. S.). Harker. The natural history of igneous rocks. N. Y. 1909. Iddings. Igneous rocks. I—II. N. Y. 1909—1913. E. Weinschenk. Allgem. Gesteinslehre. 2—3 изд. I—II Fr. 1903—1907. E. Schwarz. Causal geology. L. 1910. Daly. Igneous rocks a. their origin. N. Y. 1914. Becke. Abhandlungen d. Wien. Akad. (о крист. сланцах). Grubenmann. Krystallin. Schiefern. 2. Aufl I—II. B. 1910. E. Weinschenk. Grundzuge der Gesteinskunde. 3-te Aufl. Fr. 1913. F. v. Wolff. Der Vulkanismus. I. St. 1913—1914. F. Hatch a. R. Rastall. The petrology of sedimentary rocks. L. 1913. H. Boeke. Grundlagen d. physik. chem. Petrographie. B. 1915. F. Hatch. The petrology of igneous rocks. 7-th ed. L. 1914. C. Leith a. W. Mead. Metamorphic geology. N. Y. 1915. Cayeux. Introduction à l'étude petrographique des roches sédiment. I—II. P. 1916. W. Hommel. Grundzüge d. system. Petrographie. I. B. 1919. F. Clarke, Data of geochemistry. 4 ed. W. 1920. H. Rosenbusch. Elemente d. Gesteinslehre. 4 изд. (Osana) 1921. H. Rosenbusch. Mikrosk. Physiogr. d. Miner. u. Gest. 5 изд. v. Wülfing. St. 1921 (не оконч.). В. Лучицкий. Учебник петрографии. 3 изд. К. 1922.

Понимание явлений петрографии — также, впрочем, как и минералогии — невозможно без широкого и точного представления об общей геологии. В связи с разбираемыми здесь вопросами можно указать некоторые главы W. Suess, *Antlitz d. Erde*. I—III. W. 1885—1909 (и особ. франц. перевод М. Margerie с дополн. P. 1914). и трактаты по геологии, (напр., из новых: А. Борисяка. Курс историч. геологии. Спб. 1922 и др. Haug. *Traité de géologie*. I—II. P. 1908—1911). L. Pirsson a. C. Schulhardt. *A textbook of geology*, I—II N. Y. 1913—1915. E. Kaiser. *Lehrb. d. Geologie*. L. 1921.

### 3. Месторождения минералов.

80. Согласно данному в § 63 определению, минералы, в различных комбинациях, составляют все земные оболочки и слагают из себя горные породы. Мы видели, что количество минералов, которые являются преобладающими в земных оболочках или в горных породах, очень незначительно. Едва ли можно набрать больше 50—100 минералов, которые будут составлять  $\frac{9}{10}$  по весу всех горных пород или каждой оболочки в отдельности. Следовательно, если бы мы имели своей задачей изучить химические процессы земной коры в общих чертах, мы могли бы остановиться только на истории этих немногих минералов и получили бы таким образом несомненно известное представление о главных основных химических процессах, идущих в земной коре или в отдельных земных оболочках.

Но это не может являться задачей минералогии — ее задачей служит изучение всех химических реакций земли, т. е. *всех минералов*. Число минералов, как мы видели (§ 54), превышает 2000 и медленно увеличивается, как под влиянием новых открытий, так и под влиянием изменений наших взглядов на минералы. Ежегодно открывается не менее 20—40 новых тел, и мы несомненно далеко не достигли предела, при котором темп таких открытий заметно уменьшился бы.

Поэтому, очевидно, для минералогии суммарное представление о составе земной коры или земных оболочек является недостаточным; к тому же надо иметь в виду, что есть известная закономерная связь между всеми минералами на земле, нет случайных неожиданных продуктов. Если бы мы могли сразу охватить все химические процессы, идущие на всей земной поверхности, на разных глубинах и в различное время, — мы бы убедились, что они представляют одно неразделимое целое — части одного огромного химического равновесия, которое представляет из себя наша планета. Деление на отдельные процессы является необходимым следствием наших мыслительных способностей, но не характера природного явления.

Очевидно, единая химия земной коры может быть узнана только тогда, когда будут выяснены и фиксированы все ее химические реакции и все получаемые при этом продукты. Убеждение, что с этой общей точки зрения нет минералов, не имеющих значения, случайных и безразличных, все более и более охватывает науку с начала XX столетия; особенно ярко сказалось это при изучении тех минералов, для которых можно было выяснить теоретически поверхность химического равновесия, отвечающую природному процессу их образования.

В основу нашего изучения минералов мы кладем научное *наблюдение*, причем в огромном большинстве случаев мы имеем возможность изучать не самый процесс образования минералов, а готовые продукты природного химического процесса—минералы.

Здесь на первом месте стоит изучение нахождения минералов в природе, т. е. точное наблюдение их *местонахождений* или *месторождений*. Это определение лежит в основе всех наших дальнейших выводов.

Очевидно, при определении месторождения минералов мы должны определять прежде всего *условия*, в которых находится тот или иной минерал.

Некоторые общие черты этих условий совершенно ясны и сами собой понятны, раз точно указаны те земные оболочки, в которых находится минерал, и те горные породы, среди которых он встречен. Очевидно, уже одни эти указания достаточны для того, чтобы дать некоторые определенные рамки возможного хода химических процессов, в результате которых образовался данный минерал. Однако, эти указания слишком общи и недостаточны. Горные породы являются слишком большим и разнообразным по свойствам участком земной коры, в котором наблюдаются месторождения минералов. Минералы в пределах одной и той же породы, в различных ее частях, могут образовываться при очень разнообразных условиях.

И уже давно наблюдения минералогов позволили выделить в горных породах более мелкие морфологические участки, отличающиеся от других частей породы по условиям их образования, по их месторождениям.

Эти более мелкие, чем горные породы, участки земной коры мы будем называть *минеральными телами*. Совершенно аналогичные обособленные морфологические формы нахождения минералов будут наблюдаться и в тех фазовых оболочках (напр., гидросфере), для которых не существует понятия горной породы,—но там эти места выделения минералов более просты, менее отличаются, чем в литосфере, от окружающей их среды и не требуют обычно особых пояснений.

**81.** В каждом месторождении минералов мы будем отличать три следующих, характеризующих его элемента:

1. Морфологию или форму месторождения, т. е. *минеральное тело* в горных породах или аналогичное ему образование в атмосфере и гидросфере.

2. *Парагенезис минерала*, т. е. ту ассоциацию минералов, которые совместно находятся в одном и том же месторождении.

3. *Генезис* минерала и минерального тела, т. е. тот химический процесс, в результате которого они получаются.

При этом необходимо иметь в виду, что некоторые минералы имеют строго определенное месторождение, наблюдаются в резко очерченных условиях. Так, напр., лейцит —  $K_2Al_2Si_4O_{12}$  — образуется только в массивных горных породах, тальк —  $Mg_3H_2Si_4O_{12}$  — только в кристаллически слоистых, а гипс —  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  — только в осадочных.

Само собою разумеется, минералы разных фазовых оболочек всегда различны.

Поэтому ясно, что мы должны изучать морфологию, генезис и парагенезис месторождений в разных фазовых, термодинамических и химических оболочках. Когда месторождение под влиянием геологических причин перемещается из одной оболочки в другую — характер его составляющих минералов меняется.

Минеральные тела лежат в горных породах, и в зависимости от нахождения их в той или иной горной породе меняется их происхождение.

Следовательно, можно различать:

1. Минеральные тела массивных пород
2. » » кристаллически слоистых пород
3. » » осадочно-обломочных пород.

Условия их образования определяются условиями образования пород, в которых они находятся.

Очевидно, каждое из минеральных тел находится в устойчивом равновесии только в соответствующей для породы термодинамической оболочке. При всяком переходе, благодаря геологическим процессам, породы в другую, чуждую ей термодинамическую оболочку, минеральное тело изменяется, что может быть видно на всех, входящих в него минералах.

**82.** Для этих изменений удобно ввести некоторые общие термины, которые мы будем употреблять во всем дальнейшем изложении. Мы будем различать три типа процессов изменения месторождения минералов, в зависимости от трех земных термодинамических оболочек.

1. *Процессы выветривания*, которые идут в верхней термодинамической оболочке, в коре выветривания, причем выветриванию подвергаются особенно резко месторождения минералов, образовавшиеся в метаморфической или магматической областях или в вулканических породах, после их образования.

\*

2. *Процессы метаморфизма* — изменение месторождений минералов, образовавшихся в коре выветривания или выделившихся в связи с магматическими процессами. Сюда же относятся месторождения в гипабиссальных породах, застывших в метаморфической оболочке.

3. *Процессы магматизации* — изменение месторождений осадочного и метаморфического характера в магматической области, причем в нижних слоях магматической области все породы превращаются в жидкую магму.

Из всех этих трех процессов мы будем иметь, главным образом, дело с первыми двумя, т. к. процессы магматизации наименее изучены для отдельных минеральных месторождений, с одной стороны, и с другой, они в пределе должны дать одну жидкую или полужидкую магму, для которой исчезают не только отдельные породы, но даже и отдельные минералы. Однако, именно возможность сейчас такого представления, повидимому, основана на недостаточности наших знаний, ибо весьма вероятно, что мы имеем в земной коре не одну магму, а несколько разных, и в каждой магме имеем разнородные участки, нам сейчас совершенно неясные. Поэтому, пока мы можем оставить в стороне эти мало изученные явления, хотя и будем указывать по возможности судьбу минералов в магматической области. Неоднородность магмы для нас будет сказываться в том, что при ее застывании в ней образуются разные минеральные тела, связанные с разными ей отвечающими породами.

**33.** При различении разных форм минеральных тел или аналогичных им образований в гидросфере и атмосфере удобно принимать во внимание фазовый характер минералов и различать явления, какие свойственны месторождениям жидких, газообразных или твердых минералов.

Наиболее просты эти явления для газообразных тел. Здесь мы имеем следующие формы выделения газов:

1. *Газовые атмосферы*, характерные для земных оболочек; кверху они неизбежно переходят в разреженные массы газов, которые, конечно, меняют свои свойства, переходя в среду, где газовые молекулы или атомы не сталкиваются или мало сталкиваются друг с другом. Эти *разрежения* газов по свойствам своим во многом отличаются от обычных газов и схожи с, так называемым, *лучистым состоянием* материи Крукса или *безвоздушным пространством* физиков.

2. *Газовые скопления*, главным образом, *газовые поры* — скопление газов обычного характера, форма которых зависит от включающего их более или менее замкнутого пространства. В земной коре преобладают микроскопически мелкие поры. Частным случаем таких газовых скоплений являются *газовые пузырьки* в жидкостях.

3. *Газовые сгущения и пленки* — тонкие сгущения газов около твердых, главным образом, рыхлых продуктов, в которых свойства газов

несколько изменены под влиянием капиллярных сил твердого тела. Такие газовые сгущения нередко к тому же находятся под очень значительными давлениями. Газовые сгущения и пленки характерны для очень многих газов осадочных пород, образующих так называемые газовые песчаники, сланцы и т. д.

4. *Газовые испарения* — наиболее обычная форма медленного выделения газов, причем форма таких образований очень быстро меняется в каждый данный момент.

5. *Газовые струи* (вихри) — токи газов, обладающие движением. Можно различить две формы газовых струй: струи, вне связи с жидкостями, и газовые струи, связанные с выделением газов в жидкости; в этом последнем случае газовая струя нередко распадается в ней на *газовые пузыри*.

84. Еще проще, но довольно аналогичны формы выделения и нахождения *жидкостей* в земной коре. Здесь мы можем различить следующие типы этих находений:

1. *Бассейны и вместилища жидкостей* — заполнения пустот, больших и малых в литосфере. Мы имеем наиболее изученную форму таких образований для природной воды, где различают океаны, моря, озера, пруды, главным образом, в зависимости от величины данных образований. Гидросфера — Мировой океан — представляет колоссальное вместилище жидкости того же типа. В виду редкости других жидкостей в больших скоплениях кроме воды, нам реже приходится употреблять эти термины и для них — хотя мы наблюдаем нередко их и для расплавленных силикатовых лав (лавовые озера), жидкого асфальта, реже небольшие скопления — мелкие озера нефти и полужидкого кира. Магмы, несомненно, образуют большие и малые бассейны в магматической и метаморфической оболочке.

2. *Движущиеся скопления жидкости* — реки, водопады, ручьи, потоки.

3. *Мелкие жидкие поры*. В виде таких пор под давлением наблюдаются и такие тела, как вода или нефть в рыхлых водоносных и нефтеносных горизонтах земной коры или жидкая углекислота в плутонических массивных породах.

4. *Капли жидкости*, напр., для воды, лавы, ртути и т. д.

5. *Пленки и пузыри жидкости*, столь характерные для целого ряда разнообразных природных тел, с которыми мы встретимся в дальнейшем изложении. Надо иметь в виду, что в этих образованиях на первое место выступают свойства поверхностного слоя жидкости, меняющие наше представление о ее характере. Пузыри воды, наполненные воздухом, характерные для тумана или для начальных стадий образования капель

туч и дождя, представляют ту же форму этих образований, с которой мы обычно сталкиваемся. Есть ряд тел, в роде жидких амальгам, ртути и т. д., которые обычны в таких довольно устойчивых по внешнему виду пленках.

**85.** Гораздо более разнообразны и более сложны *минеральные тела твердых минералов*, обычно находящиеся среди литосферы. Иногда даже кажется, что нет возможности свести их на немногие типы, перечислить все разнообразные выделения этих тел в земной коре. Терминология их очень сложна, причем научно-создаваемые термины вступают в густую массу созданий живого языка, выработанных коллективным народным наблюдением этих явлений вне всяких научных интересов и представлений. Этими терминами, разно понимаемыми, пользуются и ученые, и нельзя отрицать, что во многих случаях в описании месторождений минералов этого рода царят хаос и произвол. Общепринятой терминологии нет.

Ниже делается попытка дать некоторую систему в терминологии и различении этих явлений.

Но прежде, чем перейти к более детальному рассмотрению минеральных тел, необходимо остановиться на сложности самого понятия того явления, которое наблюдается в природе.

В каждом месторождении минералов *минеральное тело* всегда сложное; можно разбить его на *минеральное тело главное или первого порядка* и минеральные тела *2-го, 3-го и т. д. порядков*, ибо в пределах минерального тела всегда можно отличить для разных минералов, в него входящих, минеральные тела меньших размеров, но другого типа. Это неизбежно уже потому, что природная химическая реакция всегда очень сложна и длительна по времени: на ряду с основной химической реакцией идут побочные химические реакции, или после окончания основной реакции идут дальнейшие изменения, образуются новые минералы (*новообразования*) и т. д. Мы не должны забывать, что в минеральном месторождении мы наблюдаем минеральные тела, которые существуют иногда миллионы лет после своего образования и которые затем подвергались различным новым процессам, которые, конечно, отражались на их морфологическом характере.

К тому же горные породы, напр., массивные, входят в места своего застывания с отголосками чуждых данным оболочкам (коре выветривания или метаморфической) условий, имеют при своем застывании избыток энергии, который позволяет им образовывать такие минералы, которые неустойчивы при условиях этих оболочек. Эти минералы неизбежно будут переходить в новые соединения, и при этом химическом изменении будут давать новые морфологические формы. При выветривании

и метаморфизации неизбежно происходит образование новых минеральных тел в пределах старого минерального тела, нередко меняющих его до неузнаваемости.

Наконец, нельзя забывать, что минеральное тело не является только отражением химических или физических процессов данного участка земной коры — оно нередко отражает на себе и свойства образующихся при данных условиях соединений. Мы знаем, что и в химических реакциях наших лабораторий получаемые продукты отражают на себе не только свойства химической реакции, но и свойства выделяющихся тел. Так, например, при сублимации мы получим для одних тел прекрасные жемчужины (напр., для иода), тогда как другие при том же процессе дадут сплошные кристаллические массы (напр., парафин); такие явления проявляются не менее резко во время природных процессов.

Они в значительной мере вызывают минеральные тела высших порядков, мелкие по размерам, отличимые в области большого или больших минеральных тел.

**86.** Классификация минеральных тел может быть выражена в следующей таблице (стр. 104), в основу которой положены морфологические и генетические особенности минеральных тел.

**87.** В этой таблице дана лишь общая схема — в дальнейшем изложении будут видны и некоторые другие названия, большей частью синонимы здесь приведенных.

К сожалению, вся область морфологии минеральных месторождений разработана чрезвычайно слабо и очень часто совершенно не обращает на себя внимания исследователей. Для выработки общей терминологии необходимо международное соглашение.

Может быть удобно даже отделить одним каким-нибудь именем минеральные тела 1-го порядка, являющиеся большими участками земной коры, от таких выделений, как оолиты, конкреции, патеки и т. д., которые никогда таких участков земной коры не образуют; однако, тут — с минералогической точки зрения, дело идет лишь о количественном, а не о качественном делении. Мы опять встретимся с таким явлением, что нам придется проводить искусственную границу между, напр., трещинами и друзами, пещерами и жемами и т. д.

В таблице минеральные тела, которые обычно являются частью земной коры и могут играть (или всегда играют) роль геологических форм земной поверхности, обозначены звездочкой.

Название «минеральное тело», здесь употребляемое, взято по аналогии с теми названиями, которые употребляются исследователями руд (т. наз., рудные тела) или петрографами (эффузивные тела, интрузивные тела).

Таблица минеральных тел.

Группы.	Массивные породы <sup>1)</sup> .	Кристаллически-слоистые породы.	Осадочно-обломочные породы.
1.	* Батолиты * Лакколиты * Массивы (домы и т. д.) * Штоки и * линзы		* Гнезда (риффы, карманы и т. д.)
2.	* Покровы * Потоки * Листы (Sills) * Шпильеры * Апофизы	* Пласты * Фальсанды	* Пласты * Слои
3.	* Дейки (жильные породы) Некки и диатремы Пегматитовые жилы		* Жилы (жильные поля) * Сухие трещины
4.	Хонолиты	Штокверки	Эффоресценции Прожилки Септарии
5.	* Контакты Включения (enclaves) Сферолитовые выделения	* Региональные изменения	* Конкреции Оолиты Сталактиты Сталагмиты Натеки
6.	Порфиновые выделения.	Вкрапленники	
7.	Литофизы Миралитовые выделения Жеоды		Жеоды * Пещеры * Трещины Друзы
8.	Возгоны Налеты	Зеркала трения	* Налеты Пластинки Дендриты
9.	* Пепел * Туфы		* Песок * Россыпи
10.		Плотные и землистые массы	
		Брекчии Конгломераты	Коллоидальные массы
		Брекчии трения	Конгломераты и брекчии
11.		Псевдоморфозы	

<sup>1)</sup> В области массивных пород можно различать минеральные тела плутонических и вулканических пород, как это делают некоторые исследователи (напр., Дэли). Логически это правильно, и некоторые удобства в этом есть. В дальнейшем изложении для массивных пород проводится различие вулканических и плутонических минеральных тел, но в таблицу оно не внесено, чтобы ее не усложнить.

Для руд см. обзор рудных тел в больших курсах учения о рудах, напр., de Launay. *Traité de métallogenie. Gîtes minéraux et métallifères.* I—III P. 1913. R. Beck *Die Lehre v. d. Erzlagertstätten.* 3 изд. I—II. B. 1909 (добавл. 1922). Stelzner u. Bergeat *Die Erzlagertstätten.* I—II. 2. 1904—1906. К. Богданович. Рудные месторождения, I—II. П. 1912—1913. V. Lindgren. *Mineral deposits* 2-nd ed. L. 1919. J. Vogt, F. Beyschlag u. P. Krusch. *Die Lagerstätten d. nutzbar. Miner. u. Gest.* I—III. Новое изд. St. 1914—1921 (не конч.).

Для минералов формы их месторождений издавна обращали на себя внимание и особенно у старых исследователей, как, напр., из указанных минералогий у Брейтгаупта мы найдем много ценных данных.

Для петрографических тел см. литературу § 79, главным образом, указанные работы Розенбуша, Циркеля, Дэли, Гаркера.

Для газов, мало обращавших на себя внимание, см. В. Вернадский. Опыт описат. минер. I. П. 1914. Его же. Известия Имп. Акад. Наук. Спб. 1912 (перепечатано в «Очерках и речах». I. П. 1922).

Для жидкостей полезные указания можно найти в больших учебниках физической географии. См., напр., И. Мушкетов. Физич. геология 2 изд. П. 1899. Suran. *Phys. Erdkunde* B. 1917, курсы De Martonne, Penk, П. Броунова (1917) и др.

#### 4. Минеральные тела. Группы I и II.

**88.** *Первую группу* составляют массы совершенно неправильной формы, приблизительно одинаково развитые по всем направлениям <sup>1)</sup>. Самые большие из них называют *батолитами* <sup>2)</sup>.

Эти минеральные тела в своем генезисе тесно связаны с глубинными передвижениями магмы. Они образуются в тех случаях, когдадвигающаяся (подымающаяся) расплавленная масса магмы больших размеров не доходит до поверхности земли, а застывает медленно в земных глубинах, очевидно подвергаясь при этом со стороны окружающих пород огромному давлению.

Это медленное застывание, в связи с большими размерами батолитов и огромным давлением, является одним из факторов, благоприятствующих кристаллизации содержимого батолита — магмы — и дифференциации ее на отдельные минералогически различные участки. При застывании расплавленной или полурасплавленной магмы в земных глубинах на кон-

<sup>1)</sup> В пределе приближаются к кубу или шару.

<sup>2)</sup> Удобно применять это название только к таким телам, площадь выхода которых на земной поверхности превышала бы 100 километров.

такте ее с окружающими горными породами, идут энергичные, своеобразные химические реакции, между прочим резорбция — растворение и поглощение — различных веществ магмой из окружающих батолит пород и т. п. Так, напр., при встрече такой силикатовой магмой на своем пути известняков —  $\text{CaCO}_3$  — магма вытесняет из этих участков  $\text{CO}_2$ , растворяет  $\text{CaO}$  и при застывании обогащается кальциевыми силикатами.

Батолиты уходят далеко в глубинную часть литосферы; концы их для нас недостижимы; мы обычно знаем только их верхние части.

В форме батолитов встречаются исключительно массивные породы или происшедшие из них и в них книзу переходящие кристаллически-слоистые (напр., граниты <sup>1)</sup>). Их размеры очень велики — в них собираются сотни тысяч, миллионы тонн вещества. При денудационных и тектонических процессах батолиты могут приблизиться к поверхности и даже частью обнажиться и выступить на поверхность, но очевидно это может случаться только в сильно дислоцированных областях земной коры, в которых только мы и встречаем участки глубинных частей земных оболочек.

**89. Лакколиты.** В некоторых случаях магма, подымаясь из глубинных слоев литосферы, встречает в налегающих на нее сверху пластах такое сильное сопротивление своему движению, что не может прорваться на земную поверхность или резорбировать находящиеся выше слои. В таком случае, занимая свободные полости в литосфере, она лишь несколько приподымает выше лежащие слои.

Остывая, такая магма образует подземный купол, поверх которого помещены более или менее сильно куполовидно изогнутые осадочные или кристаллически слоистые породы. Такие тела впервые Джилльберт назвал *лакколитами*.

Лакколиты по размерам меньше батолитов, но все же нередко очень велики. Уже Джилльберт указывал для горы Гиллер в Ута объем в 41 кубич. килом. С тех пор найдены большие по размерам лакколиты. В форме лакколитов встречаются, в отличие от батолитов, очень разнообразные массивные породы.

С течением времени под влиянием размывания и других денудационных — а также тектонических — процессов наружная слоистая и рыхлая оболочка осадочных и обломочных пород, прикрывающая лакколит, может быть совершенно уничтожена, а сам лакколит, представляющий по своему строению большее сопротивление размыванию, может сохраниться и, обнажившись, выступить на поверхность, образуя иногда отдельную гору.

---

<sup>1)</sup> Реже сиениты, гранодпориты, кварцевые диориты. Нахождение батолитов из других пород до сих пор не доказано.

Такие лакколиты нередко описываются геологами в разных странах (напр., гора Аюдаг на южном берегу Крыма), хотя далеко не всегда это наименование употребляется правильно.

**90.** Лакколиты и батолиты не охватывают всех случаев миперальных тел, отвечающих массивным породам и по своей форме более или менее одинаково развитым по всем направлениям: в идеальном случае лакколиты и батолиты приближаются к шарообразной форме или сечениям шара. Но оба они представляют совершенно специальные случаи—батолиты уходят корнями своими в расплавленную магму и связаны с переплавом выше лежащих пород, лакколиты заполняют ранее образовавшиеся пустоты или, достигнув более рыхлых или близких к земной поверхности пород, раздвигают их, механически расширяя необходимый им для заполнения объем. И в том, и в другом случае мы имеем дело с большими массами горных пород, с большими участками их магмы. Есть ряд случаев иного рода, не обладающих подобного рода генезисом, но по форме схожих с батолитами или лакколитами. Мы будем употреблять для них всех общее название, хотя есть попытки дробного их деления, не вошедшие в обычный научный обиход и без которых можно обойтись. Мы будем называть большие массы подобного рода *массивами*, а меньшие *штоками* <sup>1)</sup>. Массивами называются выделения без явного преобладания одного какого-нибудь измерения над другим, частью иного генезиса, чем лакколиты и батолиты, частью такие, характер которых, как батолита или лакколита, не выяснен. Для лакколитов и батолитов мы имеем обычно случаи, где одновременно образуются несколько минералов, без очень резкого преобладания одного какого-нибудь из них. Так, напр., в столь обычных для батолитов гранитах мы имеем смесь кварца, ортоклаза, слюды или роговой обманки. В массивах мы имеем уже случаи, где резко преобладает один какой-нибудь минерал, так, напр., есть массивы, где господствует *оливин* ( $(Mg, Fe)_2SiO_4$ ) или *лабрадор* ( $pCaAl_2Si_2O_8 \cdot qNa_2Al_2Si_6O_{16}$ ), составляющие более 99% массива по весу.

**91.** Еще более общим термином, менее определенным, будет, т. наз., *шток*. Это название вошло в жизнь, благодаря рудной практике. Для массивных пород шток отличается от массива меньшими размерами. Но сверх сего, благодаря меньшей определенности этого понятия этим именем называют тела очень различной формы, в которой только в общих чертах сохраняется отсутствие преобладания одного измерения тела над другим.

<sup>1)</sup> Может быть надо выделить *домы*, пример образования которых мы видели во время извержения горы Пэле на Мартинике в 1902 г. (Лакруа). Это лакколиты, застывшие на земной поверхности или вблизи земной поверхности—вулканические лакколиты в отличие от обычных плутоонических.

Величина штоков, объем веществ, которые в них наблюдаются, чрезвычайно колеблется; есть штоки очень небольшие — сотни, тысячи тонн, но в них же скопляются многие сотни, может быть миллионы тонн вещества.

В штоках мы очень часто наблюдаем почти чистый минерал, выделенный в свободном состоянии. Генезис их чрезвычайно разнообразен.

В форме штоков могут выделяться минералы как среди массивных, так и кристаллически-слоистых горных пород. Очень часто в форме штоков встречается магнитный железняк, титанистый железняк, пирит и т. д.

Штоки в массивных породах нередко являются результатом дифференциации магмы; в штоках собираются при застывании породы более тяжелые или тугоплавкие ее части (напр., титанистый или хромистый железняк).

**92.** *Гнезда* образуются в осадочных породах, благодаря выделению водным путем минералов в пустотах, в них находившихся или образовавшихся при процессе образования минералов. Процесс идет при низкой температуре и низком давлении.

От штоков гнезда отличаются условиями своего образования, б. ч. меньшими размерами и еще менее правильной формой.

К сожалению, номенклатура минеральных тел не выдержана. Нередко большие гнезда в осадочных породах называют штоками — так говорят о штоках каменной соли и т. п. Мы будем называть штоки в осадочных породах гнездами.

Частный случай гнезд будут представлять риффы, напр., известняки. Такие скопления риффов, состоящие из кальцита (органического происхождения), являются характерными формами рельефа, образуя горы — напр., т. наз. толтры Подолии.

Шток или гнездо, измененное давлением, принимает сплюснутую форму, приближающуюся к форме чечевицы. Такие минеральные тела носят названия *линз* и характерны для метаморфической оболочки. Так в виде линз в кристаллически слоистых породах очень часто встречаются скопления пирита.

**93.** Линзы представляют переход *ко второй группе* минеральных тел, так или иначе имеющих форму *листа* или *пластины*, т.-е. более сплюснутых по одному направлению. При этом в нормальных случаях пластины расположены горизонтально и никогда не образуются выполнением раньше существовавших трещин.

Если уже в 1-й группе тел мы встретились с чрезвычайной неопределенностью номенклатуры минеральных тел и невыработанностью относящихся сюда понятий — то еще в большей степени это надо иметь в виду для второй группы.

Можно отметить здесь следующие главные типы.

**94.** Очень часты *покровы*, характерные для вулканических пород. Они представляют выделения изверженных горных пород, горизонтально или наклонно покоящихся на других породах. Породы в жидком или полужидком состоянии вышли на земную поверхность из трещин и застыли, расплывшись во все стороны. Образуя на поверхности как бы пласт, они в вертикальном разрезе дают горизонтальные слои. Такие покровы характерны для основных, базальтовых, пород, и в них преобладают орто и метасиликаты, стекло и бедные кремнием плагиоклазы. Площади, ими занимаемые, огромны, напр., площади траппов в Деккане в Индии или в Западной Сибири в бассейне Енисея. Мощность этих покровов тоже нередко велика. Так Декканские траппы временами имеют мощность более 1800 метров.

**95.** *Потоки* представляют застывшие массы вулканической горной породы, поднявшейся по трещинам из земных глубин и спустившихся по склонам вулкана от центра извержения. Это те же покровы, обнаруживающие ясные следы течения *по одному какому-нибудь направлению*. В потоке всегда можно отличить длину от ширины, которые в покрове неразличимы.

На крутых склонах горы потоки узки и не толсты, на пологих—широки и часто глубоки, но в обоих случаях толщина потока всегда больше к нижнему концу его.

Характерным примером потоков служат застывшие лавовые потоки современных вулканов, а также сохранившиеся от размывания и метаморфического изменения лавовые потоки древних вулканов. Мы увидим, что минералы лавовых потоков чрезвычайно своеобразны. Для силикатов очень характерно нахождение стекла.

**96.** Аналогичные потокам и покровам образования наблюдаются и в тех случаях, когда застывающие массы силикатовых пород не выходят на земную поверхность.

Такие случаи известны как для вулканических, так и для плутонических пород. Покровам аналогичны, так называемые, *массивные листы* (sills английских и американских геологов) плутонических пород, образующиеся в тех случаях, когда плутоническая (иногда вулканическая) порода проникает между слоями породы осадочной или метаморфической, застывая в распластанном образовании в виде листа или когда она дифференцируется на отдельные листы разного характера, как это наблюдается по Гаркеру на острове Эйгге. Размеры этих листов очень колеблются—от почти микроскопических размеров до слоев в 350 метров и более мощностью. Такие листы очень развиты, напр., среди массивных пород Южной Африки—долериты Гонстоуна в Капской колонии образуют листы на протяжении 13000 кв. килом. Наиболее обычны такие листы для базаль-

тических пород, но известны для перидотитов или гранитов (аплитов). И здесь мы обычно имеем случаи скопления разных минералов; однако, иногда немногие минералы составляют главную массу массивного листа, так в перидотитовых листах оливин составляет до 90% по весу, в аплитовых кварц и ортоклаз ( $K_2Al_2Si_6O_{16}$ ) достигают того же преобладания.

**97.** Потокам аналогичны *шпирь* и *апофизы*, образующиеся внутри породы или вне земной поверхности. Они связаны, подобно потокам, с движением магмы по одному определенному направлению. Генезис их резко различный: шпирь образуются вследствие химической дифференциации, в связи с движениями, происходящими внутри застывающей массы. В них собираются минералы, образующиеся во время вторичных химических реакций, идущих в подвижной магме, часто более тяжелые тела или тела разлагающиеся при плавлении. Шпирь имеют, в конце концов, вид неправильных пластин внутри породы.

Обыкновенно в шпирях собираются вещества еще жидкие, когда главная масса магмы начинает застывать; в них концентрируются некоторые химические элементы. В шпирях собираются различные алюмосиликаты (турмалины), алюмосиликаты, содержащие фтор или группу (НО) (некоторые слюды) и т. д. Вещества в шпирях выделяются в среде, богатой газами и сильно нагретой водой, т. е. дают минералы, характерные для *пневматолитических реакций* (т. е. реакций, связанных с образованием твердых продуктов при воздействии паров и газов).

Иного происхождения *апофизы*. Апофизами называются участки горной породы, застывшие в трещинах и пустотах, окружающих массив в глубине от земной поверхности. Это боковые разветвления и отростки штоков, лакколитов, массивов и т. д.

Химические процессы, происходящие в апофизах при застывании их магмы, отличаются от процессов, связанных с застыванием главного массива магмы, главным образом благодаря тому, что они застывают быстрее. Их форма и размеры очень колеблются. Иногда они переходят в дейки (§ 121).

**98.** *Пласты* и *слои*, первоначально горизонтальные, являются наиболее характерной формой кристаллически слоистых и осадочных пород. Иногда они бывают очень велики, достигают мощности нескольких сот метров и занимают площади, исчисляемые сотнями и тысячами квадратных километров. Но еще более обычны небольшие образования.

В виде слоев и пластов встречаются как горные породы, так и отдельные минералы, напр., гипс ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), каменный уголь, кварц, каменная соль и т. п.

Это та же форма листоватых образований, которая характерна для покрова или массивного листа массивных пород.

**99.** *Фальбанды* (дословно гнилые полосы) представляют частный случай слоев; это пласты кристаллических силикатов и алюмосиликатов, (кристаллически-слоистых пород), пропитанные более или менее сильно сернистыми, мышьяковистыми, сурьмянистыми соединениями тяжелых металлов. Они образовались под значительным давлением в глубоких частях земной коры, характерны для метаморфической оболочки. В состав металлических частей фальбанд входят Bi, Fe, Ni, Co, Pb, Zn, Cu, Ag и т. д.— в силикатовую часть— Fe, Ca, Mg, Na, K, H.

На земной поверхности такие породы быстро окисляются и разрушаются; особенно быстро изменяются металлические части, причем продукты их изменения нередко сильно способствуют разрушению силикатов и алюмосиликатов; главными агентами изменения являются O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O; получаются сульфаты (купоросы), арсенаты, гидраты окиси железа, окиси и карбонаты меди и т. п.

Генезис фальбанд в общем неясен, как он неясен и для самих кристаллически-слоистых пород. Они характерны для некоторых металлических минералов. Количество собранных в них металлов в одном месторождении достигает многих тысяч тонн.

## 5. Третья группа минеральных тел. Учение о жилах.

**100.** По разнообразию находящихся в них минералов и большому числу химических элементов, для которых они представляют химические области, минеральные тела III группы играют в минералогии исключительную роль и должны быть рассмотрены более подробно.

Все эти минеральные тела можно объединить под общим именем *минеральных жил*, хотя такое название имеет и свои неудобства.

По форме это все заполнения более или менее вертикальных пустот-трещин—пластины или сплюснутые цилиндры, идущие более или менее отвесно внутрь земной коры.

По своему происхождению жилы могут быть разбиты на две группы:

1. Жилы, связанные с магмами, и
2. Жилы, связанные с водными растворами.

Эти последние являются наиболее важными в истории обычных в технике металлов.

Так, в минеральных телах этого типа концентрируются в земной коре Cu, Ag, Au, Zn, Pb, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, значительная часть серы в ее первичном нахождении, Te, значительная часть Fe, Mn, Mo, отчасти Sn

Для этих элементов жилы являются характерными химическими областями.

Резко разделить эти два типа жил нельзя, т. к. между ними наблюдаются переходы, в виде, так называемых, *пневматолитических жил* и *сухих трещин*, в образовании которых играют роль пары воды и жидкие растворы, одновременно с переполненной газами магмой. К тому же и жилы первого рода нередко связаны с магматическими процессами и могут быть рассматриваемы, как определенные стадии застывания и движения магмы.

**101.** Наиболее изученные жилы 2-го рода связаны с движением водных растворов в пустотах и трещинах земной коры; они образуются, следовательно, в верхних частях метаморфической оболочки, там, где давление не делает еще горные породы вполне пластичными.

Трещины, наблюдаемые в горных породах, имеют очень различные размеры; иногда они едва заметны, в других образуют широкие расщелины. Причиной их образования являются изменения объема горных пород, вследствие дислокаций земных слоев, связанных с растяжением и часто с разрывом составляющих их горных пород. Под влиянием бокового давления слои изгибаются, дают складки и сдвиги (перемещаются в вертикальном направлении). Эти явления охватывают огромные участки земной коры, образуя на земной поверхности горные системы. Явление это неуклонно происходит и теперь, но нам замечен только накопленный в геологическое время результат. Причина бокового давления не может считаться вполне выясненной. Обычно принимают медленно происходящее сжатие нашей планеты под влиянием непрерывно идущего, с космических времен, охлаждения, путем лучеиспускания тепла в пространство. Не смотря на очень широкое проникновение этой идеи в научную среду, она должна быть рассматриваема, как рабочая гипотеза, не доказанная фактами. Никаких проявлений этого гипотетического процесса — охлаждения земли — мы не можем пока уловить в других фактах и явлениях физической географии. Есть попытки объяснить это боковое давление другими причинами — напр., неравномерным нагреванием под влиянием радиоактивных процессов, но эти объяснения не вышли из области требующих доказательств гипотез.

Дислокационные явления этого рода сопровождаются обычно передвижением в верхних частях метаморфической оболочки расплавленных магм, и в связи с ними образуются новые трещины и пустоты. В образовании трещин могут иметь значение и взрывы газов, также связанные с движением расплавленных силикатовых масс.

Характером образования трещин и пустот обусловлена их форма — частью узких пластинчатых, частью трубчатых расселин.

В образовавшиеся таким путем пустоты могут попадать расплавленная магма и газообразные, связанные с ней продукты. По ним же двигаются и водные растворы, которые, осаждая разнообразные твердые тела, благодаря испарению растворителя (воды) или химическим реакциям, более или менее быстро заполняют трещину.

В связи с формой трещины, получаемые при их заполнении минеральные тела — *жилы* — имеют форму неправильной пластины или сплюснутых трубок. Размеры жил очень разнообразны — длина их доходит до 150 килом., м. б. больше, глубина до нескольких километров — мощность от немногих миллиметров до нескольких сотен метров. В общем пластины жил менее мощны, чем слои или пласты.

Так огромная жила кварца ( $\text{SiO}_2$ ) на север от Амберга в Баварии, прослеженная на 150 километров, почти до Баварской границы, имеет среднюю толщину в 115 метров. Вглубь она идет на недоступную нам глубину. Предел глубины для образования трещин, а следовательно, и жил, обуславливается пластичностью вещества горных пород или сопротивлением, оказываемым им движению и взрыву газов. Он, однако, значительно ниже, чем мы это думали еще недавно. Жилы могут образовываться ниже 10 километров от земной поверхности.

Обычно, однако, жилы идут не столь глубоко; в огромном большинстве они являются телами, расположенными в двух верхних оболочках литосферы. В жилах можно различить верхнюю часть — *голову жилы*, и нижнюю — *хвост жилы*. Минералогически и химически голова и хвост жилы различны, ибо при неодинаковых термодинамических и химических условиях среды в них неизбежно должны будут получаться разные минералы. Хвосты жил очень часто доступны нам для исследования, вследствие позднейших перемещений земной коры и процессов денудации, выведших их на земную поверхность.

**102.** Очень часто много жил наблюдается сосредоточенными в одном и том же участке земной коры. Это и понятно, так как трещины являются результатом взлома земной коры, происходящего под влиянием одной и той же причины — будет ли это дислокационный процесс или взрыв газов. Причина эта охватывает больший или меньший участок земной коры, который весь оказывается более или менее разрушенным. Направление получаемых трещин является не случайным, а связано с вызывающей их причиной. При заполнении трещин, т. е. образовании жил, разрушенная порода вновь скрепляется, а жилы скопляются в большем или меньшем количестве на одном и том же участке земной коры.

Жилы образуют целую сеть, составляя этим путем, так называемые, рудные или *жилльные поля*. Количество жил в жилльных полях сильно колеблется, но может быть очень значительно. Так, напр., в жилль-

ном поле около Фрейберга в Саксонии на протяжении 25 квадратных километров известно до 900 жил, содержащих соединения свинца, серебра, цинка и т. д. Нанесенные на карту жилы жильных полей выражаются в виде линий, идущих по разным направлениям, иногда пересекающихся.

Эти пересечения обычно связаны с тем, что причина, вызывающая трещины через некоторое — более или менее долгое — время после образования первой системы жил, начала действовать вновь. Образовались новые трещины, направление которых обычно иное — в зависимости от характера вызывающего их давления; эти новые трещины пересекают старые.

Отсюда, явилось представление о разном возрасте жил в жильных полях, вполне подтвержденное наблюдением. Обычно жилы, более или менее параллельные, соединяются в одну *систему жил*; это жилы приблизительно одного возраста, очень сходные по своему химическому и минералогическому составу. Это связано со сходством химических реакций, вызвавших образование минералов. Жилы одной системы обычно были местом одинаковых химических реакций. Так, например, около Фрейберга можно видеть, что в одной системе жил господствующим соединением (телом жилы — § 103), является кварц ( $\text{SiO}_2$ ), а в другой пересекающей их системе — барит ( $\text{BaSO}_4$ ). Примеры столь же резкого различия мы наблюдаем в жильных полях на каждом шагу.

Очень аналогичны *жилым полям* и те случаи, когда жилы—трубки образуются под влиянием взрыва газов в местах диатрем или минеральных источников, не связанных прямо с трещинами. Здесь в одном участке земной коры скопляются вместе жильные образования, дающие, в конце концов, скопления проникающих в земную кору на большую или меньшую глубину трубчатых образований. Примером таких форм минерального тела являются, напр., диатремы <sup>1)</sup> Ураха в Вюртемберге; они заполнены кальцитом ( $\text{CaCO}_3$ ), выделявшимся из водных растворов, проходивших через рыхлые породы.

Несомненно природное явление более сложно, чем это может казаться из сказанного. Форма трещин, образовавшихся тем или иным путем, изменяется позднее под влиянием множества побочных причин, напр., растворения притекающими растворами, и, в конце концов, только в общих чертах своих отражает влияние основной, первоначальной вызвавшей ее причины.

**103.** В жилах встречаются соединения следующих элементов: O, Si, H, Al, C, Ca, Mg, Ba, Sr, Au, Ag, Cu, Zn, Cd, Pb, Hg, S, Se, Te,

---

<sup>1)</sup> *Диатремой* называются трубчатые образования, вызванные взрывами, заполненные веществами, с этим взрывом генетически связанными; отчасти это механически разрыхленная пыль, а частью выделения водных растворов.

Bi, As, Sb, Ge, Co, Ni, Ga, In — реже Pt, Ir, Os, Ru, Pd, Sn, W, Mo, Mn, Fe, Cl, F, P, U, V.

Элементы эти не рассеяны в жилах равномерно и одинаково во всех ее частях. Их соединения — минералы — собираются в определенных участках жилы и вызывают очень большую разнородность жил с точки зрения входящих в их состав химических элементов.

С точки зрения минералогического состава в жилах можно различить два типа образований:

1. *Тело жилы*, т.е. господствующий минерал или минералы, выполняющие жилу и составляющие по весу много больше 75%, а обычно много больше 90% ее состава.
2. *Жильные минералы*, включенные в тело жилы. Жильные минералы нередко имеют металлический характер, чрезвычайно редко наблюдаемый для тела жилы.

В состав *тела жилы* обычно входят следующие химические элементы: O, Si, Ba, S, Ca, F, Mg, Fe, C, H, Al, Mn, Sr, P, Cl. Из них наиболее обычны: O, Si, Ba, S, Ca, C, Fe, может быть Mg.

Эти элементы дают немногие минералы: кварц, реже халцедон— $\text{SiO}_2$ , кальцит, реже арагонит —  $\text{CaCO}_3$ , доломит —  $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}) \text{CO}_3$ , опалы — коллоиды кремнезема, плавик (флюорит) —  $\text{CaF}_2$ , барит —  $\text{BaSO}_4$ , сидерит —  $\text{FeCO}_3$ , магнезит —  $\text{MgCO}_3$ , родохрозит —  $\text{MnCO}_3$ , каолин —  $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , целестин —  $\text{SrSO}_4$ , гипс —  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и т. д.

Очень часто в жилах резко преобладает один какой-нибудь из этих минералов. Во всех местностях земной коры, среди отложений всех геологических возрастов мы имеем в земной коре многие сотни тысяч, миллионы жил — кварцевых, кальцитовых, баритовых, реже плавиковых, сидеритовых и т. д.

**104.** Гораздо более важное практическое значение имеют «жильные минералы». Главные жильные минералы сопоставлены в следующей таблице, (стр. 116).

**105.** В этой таблице помещены только главнейшие минералы. Из нее, однако, ясно, что первичные жильные минералы, выпадающие из водных растворов, представляют сернистые соединения — простые и сложные (сульфосоли), т.-е. тела резко отличные от тех, которые мы наблюдаем в водных растворах наших лабораторных опытов. Это различие связано с тем, что химические процессы, идущие в жилах, в главной своей массе и в огромном большинстве случаев, идут вне коры выветривания и отчасти вне осадочной химической оболочки (§ 30), характеризующейся присутствием свободного кислорода.

Химич. элемент.	Главнейшие первичные жильные минералы.	Главнейшие вторичные жильные ми- нералы жил выше и около кислород- ной поверхности (§ 29).
Zn . . .	(Zn, Fe)S цинковая обманка (сфалерит).	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O (госларит), ZnCO <sub>3</sub> (смит- сонит), Zn—силикаты (вилемит, кала- мин), ZnS (клеюфан; вюрцит).
Pb . . .	PbS (галенит). Сульфосурьмяни- стые и сульфомышьяковистые соли свинца.	Кислородные соли свинца (англезит, церуссит, пироморфит и т. д.). Реже PbS.
Fe . . .	FeS <sub>2</sub> (пирит), FeAsS (арсено- пирит).	Fe <sub>4</sub> O <sub>3</sub> (HO) <sub>6</sub> (лимонит), Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (HO) <sub>2</sub> (гетит), FeS <sub>2</sub> (марказит).
Ni . . .	NiAs (никколит), (Ni, Co) (As, S) <sub>2</sub> (смальтин, хлоантит).	Мышьковокислые соединения кобальта и никкеля (эритрин и др.), асболавы (водные кобальтаты), NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O.
Co . . .	CoS <sub>2</sub> (кобальтин).	
Au . . .	(Au, Ag) (самородное золото), (Au, Ag) <sub>p</sub> Te <sub>q</sub> (сильванит, пет- цит и т. д.).	Au.
Ag . . .	Ag <sub>2</sub> S (аргентит), сульфомышья- ковистые, сульфосурьмянистые соединения серебра (прустит, пираргирит и т. д.) (Ag, Cu) <sub>2</sub> Se (эйкайрит).	Газоидные соединения серебра (керар- гирит и т. д.), Ag; Ag <sub>2</sub> S (серебряная чернь).
Cu . . .	CuFeS <sub>2</sub> (халькопирит) и другие сульфожелезные соединения меди (борнит и др.), сульфо- мышьяковистые, сульфосурьмя- нистые, сульфовисмутистые сое- динения меди (блеклые руды, виттихенит) и т. д.	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O (халькантит), Cu, окси-кар- бонаты меди (азурит, малахит) и другие кислородные соли меди (брошантит, элит и т. п.), Cu <sub>2</sub> O (куприт).
Bi . . .	Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (бисмутинит); Bi; сульфо- висмутистые соединения меди, серебра и т. д.	Кислородные висмутовые охры. Bi.
Sb . . .	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (антимонит); сульфосурь- мянистые соединения серебра, меди, свинца; Sb.	Кислородные сурьмяные охры (биндгей- мит и др.). Sb.
As . . .	As <sub>2</sub> S <sub>2</sub> (реальгар), As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (азуриг- мент), сульфомышьяковистые соединения Cu, Ag, Pb. Само- родный мышьяк.	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (арсенолит, сенармонтит). As.
Hg . . .	киноварь, сульфосурьмянистые соединения (дэвингстонит, шват- цит), амальгамы золота и серебра.	Hg, HgS.

Вторичные минералы образуются в присутствии свободного кислорода, и этим, главным образом, обуславливается их образование.

Поэтому в жильных месторождениях нижняя граница верхней оболочки земли, т. наз., *кислородная поверхность* (§ 29) приобретает особое значение.

Ниже ее образуются первичные минералы, выше вторичные, около нее на границе, где так или иначе могут соприкасаться водные растворы резко различных свойств (содержащие и лишенные кислорода), идет наиболее энергичное выделение сернистых тел. Это, так наз., *область обогащения* сернистых рудных жильных месторождений, обратившая на себя в последние годы особое внимание.

Область вторичных минералов, очень часто богатая гидратами окиси железа, получила у рудокопов название *железной шапки*, которое перешло и в научную литературу. Минералы железной шапки произошли воздействием поверхностных вод (содержащих растворенный кислород) на ранее отложившиеся первичные соединения, при чем значительная часть вещества, главным образом, тела жил, унесена водами, так что процентное содержание ценных металлов в ней обычно резко увеличивается.

Ниже кислородной поверхности нет свободного кислорода ни в газообразном состоянии (в виде воздуха), ни в водном растворе.

Граница кислородной поверхности колеблется в разных местах и лежит на глубине 0,5—1 килом., реже спускается до 1,5 килом. и даже больше в рыхлых породах (напр., в руднике Ейрека в Неваде). В жилах кислородная поверхность понижена по сравнению с остальной земной корой, что связано с тем, что жилы являются местами наиболее удобными для циркуляции вод, так как связаны с пустотами и трещинами, с нарушением массивности земной коры.

Кислородная поверхность не является неподвижной, но постоянно меняется в течение геологического времени, то повышаясь, то понижаясь. Ее понижение вызывается денудационными процессами, смывающими верхние части поверхности суши; все геологические агенты, повышающие слои, лежащие над жильным месторождением, действуют в обратную сторону. Главные изменения несомненно происходят здесь под влиянием дислокационных движений земной коры, опусканий и поднятий минерального жильного тела (т. е. содержащего его участка земной коры), трансгрессий и отлива покрывающего его моря. Эти причины действуют медленно и непрерывно. Они действовали в прошлые геологические периоды, действуют и сейчас.

Очевидно все эти явления сказываются резко на составе минерального тела, и изучение каждого жильного месторождения указывает обычно на сложную его историю. Особенно резко сказываются эти изменения в железной шапке и в области обогащения сернистых соединений.

В железной шапке, с течением времени, идет резкое изменение состава; из нее все больше и больше извлекаются растворимые тела, она обогащается нерастворимыми соединениями металлов и привнесенными в нее новыми для данного жильного месторождения продуктами вадозных вод. Само железо железных шапок привносится в них частью вадозными водами, вне связи с данным жильным месторождением.

Каждое жильное месторождение представляет сложное тело, меняющееся во времени и все время находящееся в изменении, и его железная шапка все время находится в движении.

**106.** При первом же знакомстве с жилами неизбежно возникает целый ряд вопросов о происхождении находящихся в них рудных минералов. Откуда попадают в жилы находящиеся в них первичные жильные минералы? Почему в жилах сосредоточиваются только некоторые химические элементы?

Эти и связанные с ними вопросы возникли уже давно и с XVIII столетия не сходят с научного кругозора натуралистов. Но несмотря на огромную литературу, связанную с этими вопросами, и на неустанную работу мысли мы до сих пор не имеем единого общего учения о генезисе жил и составляющих их минеральных образований.

Есть несколько разных точек зрения, до сих пор не вполне сведенных в единое целое.

Основы одной теории, теперь получающей все большее и большее значение, были ярко выражены уже в 1840-х годах французским ученым Эли де Бомпом. Согласно этим теориям, связанным с геологическими представлениями геологов плутонистов того времени, *все жильные процессы генетически связаны с мамами*; водные растворы целиком происходят из земных недр. Как вода, так и содержащиеся в ней тела, выпадающие, в конце концов, в виде тела жил и их жильных минералов, являются легко удаляемыми из застывающей магмы, летучими и легко растворимыми соединениями, поднимающимися ближе к земной поверхности из магматического очага. Воды, циркулирующие в жилах и давшие им начало, подымались снизу.

Эти теории были развиваемы логически последовательно и доведены до крайностей, вызвавших реакцию — отрицание значения магмы.

Уже в 1850-х годах в ряде очень замечательных работ датский ученый Г. Форхгаммер доказал значение поверхностной земной коры для образования жил и видел источник металлов в верхних ее слоях, придавал огромное значение водам вадозным и частью верхним фреатическим. В 1870—1880-х годах эта теория была возобновлена немецким геологом Ф. Зандбергером. Зандбергер рассматривал жильные

процессы связанными не с магмами, а с поверхностными слоями земной коры. Жильные минералы получались, по его мнению, не в связи с застыванием расплавленных силикатовых магм, находящихся внизу, а благодаря изменению — выщелачиванию метеорной водой, прилегающих к трещинам массивных, метаморфических и осадочных пород. Первоисточник металлов находился в массивных породах в виде ничтожной изоморфной подмеси в их силикатах и алюмосиликатах (слюдах, роговых обманках и т. д.). При разрушении этих пород и составляющих их минералов медленными вековыми процессами, эти металлические части собирались в водных растворах и, в конце концов, выделялись в жилах.

Несомненно в результате этих работ пришлось признать значение поверхностных слоев земной коры для образования жил, скорее в согласии с идеями Форхгаммера, чем Зандбергера. Вадозные воды привносят элементы жилы, извлекая их из всей совокупности пород, находящихся в осадочной и метаморфической оболочке. Но этот привнос не может объяснить процесс жильных образований во всем его масштабе.

В конце концов, начинает выясняться представление о генезисе жил, до известной степени синтезирующее обе точки зрения — причем оказывается, что идеи Эли де Бомона (отчасти и Фурнэ) правильно подчеркнули главный характер жильных процессов, их неизменную генетическую связь с магматическими массами и их изменением при их приближении к земной поверхности.

**107.** Жилы несомненно находятся в связи с массивными породами. Для почти всех изученных жильных месторождений и жильных полей удалось выяснить связь их с определенными горными породами. При этом огромное количество этих горных пород — породы кислые.

Собранные в жилах минералы жил в значительной своей части являются результатом переработки водами, находящимися в более глубоких частях литосферы, легко растворимых или более летучих соединений магм. Повидимому в тесной связи с выделяемыми ею газообразными продуктами расплавленные массы силикатовых пород поднимаются к земной поверхности, постоянно доходят до тех слоев метаморфической оболочки, в которых могут образовываться пустоты и трещины. При этом передвижении и застывании, отчасти в связи с уменьшением претерпеваемого ими давления вследствие приближения к земной поверхности, магмы выделяют в эти пустоты разнообразные тела, очень аналогичные тем, которые появляются при фумарольных процессах вулканических извержений, т. е. при выходе магмы на земную поверхность.

По существу с точки зрения генезиса элементов это тот же самый жильный процесс, но фумарольные выделения должны быть более бедны

элементами, так как магма уже потеряла значительную часть летучих продуктов до выхода на земную поверхность.

Магма при застывании теряет:

пары воды (ювенильная вода),  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  
 $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ , благородные газы и т. д.  
летучие соединения  $\text{S}$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{Te}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cu}$ ,  
 $\text{Pb}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{Al}$  и пр.

Фумарольные процессы в настоящее время для некоторых вулканов (напр., для Везувия или Этны) изучены довольно хорошо, и можно убедиться, что во время этих процессов выделяются соединения всех элементов, которые входят в состав жильных минералов:  $\text{S}$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{F}$  и т. д. Но нельзя не обратить внимание на отсутствие в жильных минералах, т.-е. твердом остатке, выделившемся при переработке водою внутренних фумарольных процессов, соединений таких элементов, как  $\text{N}$  (в виде  $\text{NH}_3$ ) и  $\text{Cl}$ .

**108.** Здесь нет возможности останавливаться на каких бы то ни было частностях сложного, далеко не вполне выясненного процесса, идущего при этом в земной коре. Несомненно, при такой внутренней возгонке происходит очень легко и постоянно и вторичная переработка выделенного из магмы и проникшего в пустоты, трещины и т. д. материяла. Здесь идут вторичные химические реакции между выделенными веществами, и среди них наибольшее значение имеют процессы, связанные с образованием *водных растворов*, дающие начало жильным минералам, ибо вода является одним из тех веществ, которые постоянно выделяются при застывании магмы. Поэтому, всякая магма на некотором расстоянии от места ее выхода дает начало горячим водным растворам, дифференцирующим выделенные из нее путем первичной сублимации вещества: часть их переходит в водный раствор, часть остается на месте (ср. сухие трещины § 113).

Водные жильные растворы не могут быть прямо параллелизуемы тем водным растворам, с которыми мы имеем дело в лаборатории и в обычных наших химических представлениях. Ибо они, с одной стороны, находятся нередко в перегретом для воды состоянии, всегда под значительным давлением, достигающем многих атмосфер и, с другой, всегда переполнены газами. Их состав резко меняется с глубиной, с давлением, с их расстоянием от исходного очага и с их температурой. В начале они вероятно представляют собрание нагретых паров и газов, в которых преобладают пары воды. Ниже  $365^\circ\text{C}$  эти пары могут превращаться в жидкое состояние, причем в начале они дают более концентрированные, менее устойчивые растворы, чем позже, когда они поднимаются выше и температура их понижается.

Во всяком случае характер их очень сложный; в них идут самые разнообразные химические реакции между веществами, одновременно находящимися в растворе. Каждый такой раствор представляет поэтому чрезвычайно неустойчивую систему, резко меняющуюся в ту или иную сторону под влиянием даже незначительных изменений внешних условий.

Среди составных частей такого раствора особенное значение имеют газы; они не только являются одной из причин движения вод, образующих жилы, они в то же время, главным образом, вызывают химические изменения в жилах. Мы имеем в жилах частью растворенные газы, частью газы, выделяющиеся в результате вторичных реакций (см. ниже  $H_2S$ ,  $CO_2$ ). Состав этих газов очень характерен и резко отличает воду минеральных жил от вадозной воды; среди них нет кислорода, в них имеют значение N, благородные газы, He,  $H_2S$ , углеводороды,  $CO_2$  и т. д.

Но помимо отличия в характере газов и состав раствора очень своеобразен. Всюду мы имеем дело с растворами слабыми, т. е. растворенные тела как будто бы должны были распасться на составляющие их ионы. Однако, можно убедиться, что это представление не может объяснить всех наблюдаемых свойств таких растворов<sup>1)</sup>. В очень многих случаях — может быть даже и во всех — мы имеем дело со слабыми гелями, коллоидальными растворами, т. е. с псевдоразрастворами. В виде гелей находится в них, повидимому, по крайней мере иногда, и отчасти  $SiO_2$  (не в виде иона  $SiO_3^-$ ), сернистые тела и т. д.

Выпадение жильных минералов из водных растворов, таким образом, не аналогично столь знакомому нам выпадению тел при кристаллизации из растворов. Оно происходит или благодаря идущим в этих слабых растворах химическим реакциям (двойного разложения, удаления газов, напр.,  $CO_2$ , и т. д.), дающим нерастворимые соединения, или благодаря контактному явлению прилипания, связанным с коллоидальными свойствами, находящегося в таких ложных растворах коллоидального вещества.

Это последнее обстоятельство объясняет влияние стенок жил на характер жильных минералов, замеченное уже старинными исследователями. Оно долгое время служило опорным пунктом теории Зандбергера. Так, напр., в Клаузене в Тироле, жильные минералы богаты Pb, Ag, Zn там, где жила ограничена диоритом и сланцами, и богаты Cu, но бедны вышеуказанными металлами там, где она входит в слюдяной сланец и фельзит. В Шапбахе в Шварцвальде жилы богаты тетраэдритом в гранитах, галенитом и халькопиритом в гнейсах и т. д. Всюду здесь

<sup>1)</sup> Так же как и вод минеральных источников — терм, являющихся ослабленным проявлением тех же растворов.

вливают контактные — столь различные — свойства этих пород: металлические соединения выпадают из водных растворов только местами в зависимости от свойств обтекаемых растворами пород, строящих жилу.

**109.** В этих жилах металлические соединения распределены неравномерно. Есть полосы, обогащенные этими соединениями, и полосы пустые.

Богатые металлами части жилы распределены закономерно. Во первых, они расположены вблизи места пересечения различных частей жил, там, где смешиваются различные по составу водные растворы, отлагающие вещество жилы, где идут вследствие этого наиболее энергичные химические реакции, в результате которых нередко выпадают особые жильные минералы.

Во вторых, они сосредоточены ближе к границе кислородной поверхности, где соприкасаются водные растворы — вадозные, содержащие свободный кислород, и ювенильные или фреатические, его не содержащие (§ 78).

Наконец, несомненной областью обогащения является *железная шапка* (§ 105). Как уже было указано, здесь обогащение достигается, благодаря уносу поверхностными вадозными водами всех легко растворимых в воде тел жил или таких же их продуктов в коре выветривания.

Очевидно, в течение геологического времени все эти области обогащения жил в ней передвигаются и перемещаются, в зависимости от истории жилы, и при этом изменяются. Изучая минералы жилы, мы можем восстановить всю ее историю.

Изменение характера рудоносности жилы, ее металлического содержания зависит и от других обстоятельств, на которые систематически и последовательно обращено внимание в последнее время (американский ученый В. Линдгрэн и другие). Жилы нередко идут на большую глубину внутрь земной коры (на несколько километров); термодинамические условия реакций в их глубоких (хвостах) и более близких к поверхности частях (головах) резко различны (§ 101).

Очень часто на земной поверхности доступны изучению только части целой жилы, верхи или низы жильного процесса, и явление в целом может быть понято лишь при изучении геологической истории данного участка земной коры.

Это выделение различных участков жил привело уже к важным выводам и начинает менять наше представление о рудных явлениях.

**110.** Жилы водного происхождения по условиям своего генезиса могут быть подразделены на несколько групп, из которых наибольшее значение имеют *конкреционные жилы* и *жилы метасоматические*.

Имеют еще значение *контактные жилы*, связанные с контактами, в связи с которыми мы их и рассмотрим (§ 131), и жилы, связанные со

*итокверками*. Эти последние дают переходы частью в *пегматитовые жилы*, частью в жилы *пневматолитические*.

Конкреционные жилы образовались *осадочным путем* из циркулирующих по их трещинам водных растворов. И их тело, и их минералы принесены в жилу извне.

Характерною их чертою является нередко симметричность их строения. Она вызывается тем, что их минералы отлагались по стенкам жилы, где циркулировала вода. Постепенно среднее отверстие жилы суживалось, и в конце концов жила замыкалась. В тех случаях, когда во время этого замыкания химический характер вод менялся, на стенках отлагались разные продукты (минералы), причем это происходило *симметрично* одновременно по обеим сторонам жилы.

В подобного рода жилах мы можем легко путем наблюдения восстановить последовательность химических соединений, в нее проникших или в ней образовавшихся. Самые старые отложения, т. наз., *генерации жилы* будут находиться у ее стенок, самые молодые в центре жилы, ближе к ее середине.

В большинстве случаев такого правильного строения в отложениях жилы наблюдать нельзя. Чаще мы встречаемся с несимметрическим строением жил. Это вызывается самыми разнообразными причинами, напр., тем, что стенки неодинаково обтекаются проникающими растворами, напр., в трещинах, достаточно великих и расположенных не вертикально, растворы могут отлагать продукты своих реакций в своем ложе и не отлагать их на потолке трещины. Трещины обычно не являются правильными — они заполнены продуктами разрушения своих стенок. Всюду создаются условия, благоприятные для независимых от основной реакции частных химических процессов. А так как вещество откладывается в жилах сложным путем, эта неодинаковость ее механического и физического строения неизбежно отражается на различии ее состава в разных ее местах. Симметричность строения жил является благодаря этому исключением. Однако, путем внимательного анализа содержимого жилы мы можем различать ее генерации и восстанавливать картину ее образования.

Тело конкреционной жилы обычно состоит из карбонатов (главным образом, кальцит), кварца, сульфатов (главным образом, барит), плавикового шпата. В состав ее жильных минералов входят соединения Cu, Fe, Pb, Zn, Mn, Ni, Co, Ag, Au, As, S, Sb и т. д.

**III.** *Метасоматические жилы* установлены относительно недавно, главным образом, работами американских ученых. Несомненно, это особые от конкреционных образования жил, хотя в природе наблюдаются между ними переходы, и иногда нельзя решить с уверенностью, имеем ли мы дело с конкреционной или метасоматической жилой.

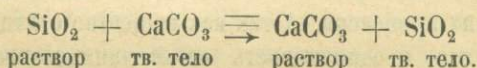
Наиболее резко отличаются метасоматические жилы от конкреционных по своему генезису. Для их образования достаточно ничтожной по размерам трещины такой толщины, чтобы в нее могла проникнуть вода <sup>1)</sup>.

Растворы, несущие металлические части, циркулируя по такой трещине, сами химически изменяют ее стенки, частью их растворяя (и перекристаллизовывая). Из нее самой, без всякого приноса постороннего вещества образуется тело жилы. Здесь, в отличие от конкреционных жил, процесс образования жилы идет от центра к краям жилы: наиболее молодые ее части (генерации) находятся у краев жилы, наиболее древние в месте спая, в середине.

Метасоматические жилы, как и конкреционные, могут обладать симметрией.

Очень существенным отличием таких жил является то, что в состав их тела входят гораздо чаще силикаты и алюмосиликаты, чем в состав конкреционных жил. Это будут опалы, тальки, мусковиты, каолины ортоклазы и т. д.

Нередко во время метасоматического процесса новое образующееся химическое соединение замещает исходное, не нарушая его структуры. Получается особого рода псевдоморфоза (§ 152). Это явление так часто наблюдается в метасоматических жилах, что считается их характерным признаком. Оно очень часто наблюдается для метасоматических жил, расположенных в известняках и доломитах. В них по тончайшим трещинам могут проникать растворы, содержащие кремнезем, или проникающая вода растворяет кремнезем, находящийся в рассеянном виде в известняке. Идет реакция:



$\text{CaCO}_3$  уходит в раствор и оседает здесь же или где-нибудь дальше в перекристаллизованном виде, а  $\text{SiO}_2$ , заменяя  $\text{CaCO}_3$ , сохраняет его текстуру: частица  $\text{SiO}_2$  заменяет частицу  $\text{CaCO}_3$ . Эти процессы идут в водах, богатых  $\text{CO}_2$ .

Но процессы в таких жилах идут и иначе — на место той или иной составной части пород выделяется из привходящего раствора металличе-

<sup>1)</sup> Такие трещины находятся всюду в верхних частях земной коры, напр., на контакте разных пород (напр., известняка и глины, известняка и массивной породы и т. п.). Здесь они образуются вне связи с каким бы то ни было дислокационным процессом. Так уже простое изменение температурных условий вызывает неравномерное расширение соприкасающихся пород, вследствие различного их расширения, что ведет к образованию трещин.

ская составная часть, напр., выделяется PbS (галенит), заменяя CaCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> или силикат породы.

Очевидно, и в этого рода жилах мы можем отличать тело жилы и минералы жил. Жильные минералы метасоматических жил характерны для Pb, Zn, Ag, Au. В теле жил очень част кремнезем, заменяющий более растворимые, напр., карбонаты или сульфаты.

Очевидно, метасоматические жилы идут глубже в земную кору, чем конкреционные жилы, т. к. они не требуют для своего образования больших и постоянных пустот, и действие растворов на стенки породы сильнее в нижних слоях литосферы.

Наблюдаются смешанные типы жил, в которых в разных местах преобладают те или иные условия генезиса — конкреционный или метасоматический. Хвосты конкреционных жил часто являются жилами метасоматическими.

**112** Переход к дейкам и пегматитовым жилам образуют пневматолитические жилы и сухие трещины.

*Пневматолитические жилы* представляют трещины, выполненные химическими продуктами, выделившимися из газообразного или парообразного состояния. Обычно при этом преобладают перегретые пары воды. Химические реакции идут при высоком давлении и высокой температуре, выше критической температуры воды (по Бателли (1891) — 364.3°C); к сожалению, этот тип жил очень плохо изучен. Едва ли, однако, можно сомневаться в их широком распространении. По аналогии с фумаролами — и по некоторым косвенным указаниям — допускают выделение в них многих металлов (Cu, Zn, Pb, Fe и т. д.) в виде паров галоидных — Cl, F и их соединений. Они очень быстро меняются, переходят в сернистые тела, а бывший в них фтор остается в теле жилы в виде *флюорита* (CaF<sub>2</sub>), хлор же уносится в водном растворе. К пневматолитическим выделениям относят некоторые жильные выделения графита (напр., на Цейлоне), выделившиеся благодаря распадению углеводов.

**113.** Характер, так называемых, Kluft'ов альпийских минералогов, или *сухих трещин*, начинает выясняться в последнее время. Обратили они на себя внимание давно, так как они являютсяместилищем красивых минералов — разных окислов, алюмосиликатов, титаносиликатов, фосфатов и т. п., образующих красивые выделения кристаллов на стенках свободных пустот, трещин в области метаморфических пород. Этого рода образования очень резко выражены в Альпах, и минералы этого типа получили даже название *минералов альпийского типа*. Горные и дымчатые хрустали, полевые шпаты, апатиты, аксиниты, анатазы таких месторождений украшают минералогические собрания всего мира. Однако, в сухих трещинах наблюдаются не только минералы альпийского типа.

Несмотря на плохую изученность этих явлений, можно сейчас уже выделить, по крайней мере, четыре различных *типа сухих трещин*.

Для всех них чрезвычайно характерна их связь с явлениями метаморфизма. Все более выясняется, что их образование столь же закономерно связано с генезисом метаморфических пород, как образование рассмотренных раньше типов жил конкреционных и метасоматических связано с застыванием массивных пород.

Для сухих трещин характерно отсутствие различия между телом и минералом жилы. В сущности мы имеем в них дело только с минералами жил, причем, в огромном большинстве случаев, в них выкристаллизовываются те же самые минералы, которые образуются во время метаморфизма в самой окружающей породе, строящей стенки жил. Но отношение между количествами этих минералов в сухой трещине и в окружающей породе иное: редкие в породе стенок минералы могут собираться в большом количестве в сухой трещине,—происходит своеобразная их концентрация. Сухие трещины альпийского типа, напр., являются химическими областями, местом концентрации для Ti, P, Cl или V. Однако, у нас нет никаких ясных указаний на принос этих элементов из глубоких частей земной коры (кроме может быть хлора). Несомненно снизу всегда приносится вода и углекислота. Однако, есть случаи, когда снизу проникают и другие тела — может быть серовород (в Биннентальском типе). Остальные элементы и их соединения — минералы — берутся из окружающих пород, являются одной из форм их метаморфизации.

Температура образования сухих жил в изученных случаях не превышает 500°; таким образом часть их образовалась в присутствии паробразной воды, следовательно, связана с пневматолитическими процессами. В образовании минералов видна известная последовательность в зависимости от понижения температуры.

**114.** Можно сейчас отметить, по крайней мере, четыре различных типа сухих трещин, но несомненно их дальнейшее изучение сильно увеличит эти возможные случаи. Эти 4 типа следующие:

1. *Альпийский тип*. Это тип сухих трещин в области кислых пород. Для них характерна выкристаллизация кварца, горного хрусталя и дымчатого кварца, соединений титана (базаномелан, титанистый железняк, сфен, анатаз и т. д.), фосфора (хлорапатит), бора (аксинит, данбурит, датолит и т. д.) и самых разнообразных алюмо- и феррисиликатов.

2. *Трещины основных и средних пород*. В них, кроме соединений, богатых железом и может быть титаном (железные блески), собираются разнообразные силикаты и алюмосиликаты, характерные для метаморфических пород (тальки, серпентины, хлориты, альбиты и т. д.).

3. *Биннентальский тип*. Сухие трещины в доломитах около Бинненталя в Швейцарии, исключительно богатые сульфосурьмянистыми и сульфомышьяковистыми соединениями свинца, сернистыми соединениями Zn, As, Fe, Pb и т. д. в превосходно выраженных кристаллических минералах являются одним из самых знаменитых месторождений. В каждой коллекции можно найти минералы из Бинненталя, и на них в значительной мере исследовались природные свинцовые сульфосоли. Генезис этого месторождения не вполне ясен — но повидимому мы имеем здесь тип сухих трещин, связанный с метаморфизацией доломитов, содержавших мышьяк, сурьму и металлы. Может быть, однако, наравне с минералами, характерными для метасоматических жильных образований, выделились здесь и продукты сухих трещин, а металлы принесены снизу.

4. К Биннентальскому типу примыкают минералы сухих трещин в мраморах и кристаллических известняках, связанные с процессами метаморфизации известняков в мраморе. Здесь кроме кальцитов или доломитов, нередко в больших кристаллах наблюдаются кристаллы горного хрусталя и целого ряда тел, которые обычно наблюдаются в известняках в ничтожных количествах.

Подобно тому, как мы имели места обогащения минералов жил метасоматических и конкреционных, и здесь можно отметить отдельные места выделения этих минералов, большею частью в форме пещер (§ 141).

**115.** Отдельно должны быть поставлены жильные минеральные тела, тесно связанные с магмами, заполненные частью расплавленной магмой разного характера (*дейки, некки, отчасти диатремы*), частью телами, образовавшимися одновременно при взаимодействии магмы и горячих водяных паров — *пегматитовые жилы*. Эти последние процессы идут под значительным давлением, при температурах в несколько сот градусов (приблизительно 200—700° C.): их можно себе представить, как смесь горячего водного раствора, газов и расплавленной силикатовой магмы, застывающую под давлением.

*Пегматитовые жилы* имеют в минералогии не меньшее значение, чем водные жилы, раньше рассмотренные. Но комплекс минералов, и химических элементов, в них концентрирующихся, совершенно иной. Они тесно связаны с магмой и обычно являются непосредственной частью массива: они наблюдаются и в лакколитах, и в массивных листах, и в батолитах. Едва ли будет ошибочным считать их неизбежной стадией образования батолита.

В пегматитовых жилах собирается вещество последних стадий застывания магмы, вещество, переполненное газами, обогащенное некоторыми химическими элементами застывающей горной породы. Повидимому, газы играют активную роль в их образовании; в очень многих случаях пегматитовые жилы проникают в трещины верхних застывающих частей мас-

сива, их цементируют. Возможно, что при этом идут взрывы газов, раздробляющие верхние части массивов.

Такой способ образования пегматитовых жил, в которых скопляются смеси с наиболее низкой температурой плавления, очевидно позволяет ожидать здесь образование эвтектических смесей. Однако, было бы ошибочным всецело переносить на пегматитовые жилы наши представления об эвтектических смесях даже тогда, когда дело идет о наиболее простых случаях. Нельзя забывать, что в пегматитовых жилах мы имеем дело с очень сложными магмами, переполненными газами, а не с простым сплавом немногих компонентов, к которым относятся наши эвтектические смеси. Конечно, в случаях застывания тех частей пегматитовых жил, которые выделяются позже удаления газов или перехода их в твердые соединения и, в наиболее простых по составу случаях, аналогия с эвтектическими смесями становится более прочной.

Такие эвтектические смеси могут встречаться в теле пегматитовых жил (§ 116), и к ним близки, т. наз., пегматиты, от которых сами жилы получили свое название. Пегматитом или еврейским камнем называется закономерная кристаллическая смесь <sup>1)</sup> полевого шпата и кварца, строение которой связано с одновременной выкристаллизацией этих двух тел. Такое строение дает известные законности, отвечающие, т. наз., пегматитовой структуре <sup>1)</sup>, и очень обычно для эвтектических смесей. Подобно обычным случаям эвтектики, здесь наблюдаются довольно простые отношения между соединениями смеси, так, напр., для пегматитов указаны Фохтом характерные смеси 74,25% ортоклаза ( $K_2Al_2Si_6O_{16}$ ) и 25,75% кварца, как эвтектическая, наиболее легкоплавкая их смесь. Но, в огромном большинстве случаев здесь наблюдаются более сложные отношения.

В зависимости от своей связи с батолитами и лакколитами пегматитовые жилы более обычны в кислых породах (напр., в гранитах), хотя несомненно они существуют и среди основных пород, в их массивах и массивных листах, хотя обычно такие образования не называются пегматитовыми жилами. Таковы, напр., некоторые пироксениты.

**116.** Чрезвычайно характерна химическая природа пегматитовых жил. В них мы должны различать, во-первых, близкую к эвтектической смеси главную часть—*тело пегматитовой жилы*, иногда имеющее пегматитовую, иногда зернистую структуру (напр., в случае однородного химического состава), и, во-вторых, *жилы минералы*. И в том, и в другом случае наблюдается резкое отличие от конкреционных и метасоматических жил.

Наиболее изучены пегматитовые жилы кислых пород.

<sup>1)</sup> См. ниже в главе о химическом составе.

В состав *тела этих жил* входят следующие химические элементы:

O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, K, Na, H, Mn (т.-е. обычные и большею частью наиболее распространенные элементы магмы).

Элементы эти группируются в форме обычных силикатов и алюмосиликатов, выделяющихся при застывании магм: кварц, полевые шпаты, главным образом  $(K,Na)_2Al_2Si_6O_{16}$  (микроклин, анортотлаз, ортоклаз), авгиты и роговые обманки, слюды (иногда содержащие фтор), нефелины и т. д.

В отличие от конкреционных и метасоматических жил никогда не наблюдаются в этих жильных телах сульфаты, карбонаты, плавики<sup>1)</sup> и т. п.

**117.** В элементарном химическом составе жильных минералов пегматитовых жил можно отметить следующие законности:

1. Редко встречаются тяжелые металлы, столь характерные для жил, образованных водными растворами.
2. Характерно присутствие соединений элементов:

O, Si, Al, Fe, Mg, Ca... — т.-е. тех, которые входят в состав и тела жил.

F, H, Ti, Li; они играют большую роль, чем в теле жил.  
Bi, Li, B, F, H, P, As, S, Cl; они связаны с пневматолитическими процессами при образовании этих минералов.

Cs, Rb, Tl, Be, Ta, Nb, Zr, Th, U, Sn, W, Mo, V, In, Sc, Y, Na и группа элементов редких земель (Ce, La, Pr, Nd, Gd, Sa, Yt, Lu, Dy, Ho, Er, Tb, Tm, Eu); эти элементы очень характерны для пегматитовых жил; многие из них встречаются вместе.

Из нахождения U и Th ясно нахождение в этих жилах Ra, Pa, Ac, Po и всех изотопов, продуктов их распада. Очевидно здесь же будут собираться He и изотопы свинца.

Характерно нахождение водорода в виде гидроксильной группы (HO) в очень многих из этих минералов, что указывает на значение паров воды при их образовании.

На основании комбинаций элементов жильных минералов можно сделать дальнейшие разделения пегматитовых жил по химическим группам, выделить в них химические области составляющих их элементов.

<sup>1)</sup> Плавик и карбонаты встречаются только в виде жильных минералов.

Пегматитовые жилы гранитных пород могут быть разбиты на основании совместного нахождения химических элементов на две большие группы, элементы жильных минералов которых различны:

Первая группа богата Li, Cs, Rb, Tl, Be, P, B, F — *Забайкальский тип* пегматитовых жил; она характеризуется нахождением таких минералов, как фтористые апатиты, бериллы, турмалины, топазы, литиистые слюды и т. д.

Вторая группа богата Ta, Nb, Zr, Th, U, P, F, Ti, Sc, Y, элементами редких земель — *Прибайкальский тип* с такими минералами, как ортиты, гадолиниты, колумбиты, ураниниты, монациты, ториты, цирконы и т. д.

Может быть следует выделить группу, иногда примыкающую к этим двум типам жил, богатую W, Sn, F, Mo, Li, Bi, Al, Be с оловянным камнем, шеелитом, вольфрамитом, висмутом, топазом, бериллом, литиистыми слюдами и т. п. (*Адуичилошский тип*).

Несомненно типов таких жил довольно много, напр., можно выделить жилы, богатые алюмосиликатами (гранаты, турмалины и т. д.), но такое более подробное рассмотрение пегматитовых жил выходит за пределы этой книги.

Едва ли можно сомневаться, что в пегматитовых жилах — и в распределении в них химических элементов — мы имеем дело с явлениями, тесно связанными с самыми основными свойствами магматических процессов, все еще крайне недостаточно изученных.

**118.** Минералы этих жил нередко отличаются прекрасно выраженными кристаллическими неделимыми. Очень часто такую хорошую выкристаллизованность этих тел объясняют влиянием *минерализаторов* — напр., таких, какими являются летучие соединения фтора, хлора, бора. Минерализаторами называют вещества, присутствующие в какомнибудь химическом процессе, не входящие в состав образующихся соединений, но способствующие выделению их в хорошо выкристаллизованных, нередко больших, многогранниках. Влияние минерализаторов очень аналогично влиянию катализаторов. Однако, и помимо участия минерализаторов жильные минералы пегматитовых жил очень редко дают те зернистые массы, которые столь характерны для жильных минералов жил, связанных с водными растворами; их жильные минералы обычно являются в виде порфировых выделений (§ 136) и, будучи более древней генерацией (§ 108), выкристаллизовываются со всех сторон.

В пегматитовых жилах, благодаря участию в их образовании газообразных веществ, наблюдаются нередко пустоты — пещеры или трещины, связанные с уменьшением объема вещества, частью с его испарением.

В этих пустотах — жеодах — нередко наблюдаются прекрасные кристаллы не только жильных минералов, но и минералов тела пегматитовых жил. Известны случаи, где в пегматитовых жилах находились кристаллы ортоклаза, топазов, бериллов и т. п., весившие много килограммов каждый; это явления во многом аналогичные сухим трещинам — и м. б. связанные не только с магмой, но и с метаморфическими процессами.

**119.** Пегматитовые жилы по наружной форме очень неправильны и тесно связаны с окружающей их массивной породой; однако бывают случаи, когда они выходят из массива и заполняют трещины, находящиеся в других окружающих породах.

Очень часто наблюдается аналогично жильным полям водных жил, или полям диатрем, сосредоточивание в большом числе пегматитовых жил в определенных участках земной коры. Здесь причиной такого сосредоточивания является связь пегматитовых жил с большими батолитами. Можно видеть иногда сосредоточивание тысяч и сотен таких жил на пространстве немногих квадратных километров. К сожалению, в этом смысле пегматитовые жилы еще менее изучены, чем водные минеральные жилы, и на их распространение обращалось очень мало внимания.

Помимо нахождения больших участков (полей), богатых пегматитовыми жилами, связанных с батолитами, такие же жилы меньшего значения могут быть приурочены к лакколлитам или даже к массивным листам. Несомненно наибольшее значение имеют пегматитовые жилы, связанные с батолитами.

Мы знаем, что батолиты не расположены случайно в земной коре, но приближены к доступным нам ее частям своими верхами только в областях, подвергшихся интенсивным орогенетическим процессам. Они выходят вблизи земной поверхности в центральных областях таких полюс земной коры, в которых развиты горные цепи, и в которых энергично шли дислокации. Очень возможно, что самое приближение к земной коре батолитов связано с орогенетическим процессом. Если мы нанесем на карту главные орогенетические пояса земной коры и выходы батолитов, мы увидим ясную связь между ними. В верхних частях батолитов и вблизи верхних их частей сосредоточены главные пегматитовые жилы, и области их нахождения таким образом будут связаны с новыми или древними орогенетическими областями земной коры, т.-е. с дислокационными ее областями, при чем, очевидно, они будут наиболее ярко выражены в тех участках земной коры, в которых позднейшие размывания приблизили к земной поверхности и оголили центральные ядра горных цепей. Области, богатые пегматитовыми жилами, выйдут на земную поверхность в старых горных системах, ядра которых освобождены от позднейших

прикрывавших их пород. Норвегия, Канада, Швеция, Финляндия, Урал, Забайкалье, Прибайкалье, Кольский полуостров являются характерными областями этого типа в нашей части Евразии.

**120.** Способ образования пегматитовых жил нам не вполне ясен, но едва ли можно сомневаться, что они могут образовываться только в метаморфической оболочке земной коры. В этом отношении они вполне аналогичны водным жилам. На такое их происхождение уже указывает относительно низкая температура их образования, maximum 600—1000 C°. Подобно водным жилам и пегматитовые жилы, связанные с поднимающимися магмами даже самой глубокой оболочки земной коры, дают минералы вне ее; они застывают, хотя и под большим давлением, но вне области высоких температур, б. ч. в метаморфической оболочке.

Очень вероятно, как уже упоминалось, что и те, и другие являются проявлением одного и того же процесса — выделения из магм летучих соединений, при чем в обоих несомненно влияние паров воды, CO<sub>2</sub>, но в общем различия между ними очень велики. Это видно из следующего сопоставления элементов, дающих летучие соединения.

Водные жилы: As, Sb, S с преобладанием Ba — Ca соединений в их теле.

Пегматитовые жилы: Cl, P, B, F с преобладанием Al — Si соединений в их теле.

Если мы будем сравнивать эти фумарольные процессы плутонических пород с фумарольными процессами пород вулканических, мы имеем для водных жил как бы более холодные возгоны, а для пегматитовых более горячие возгоны той же магмы.

Мы не должны, однако, забывать, что с фумарольными продуктами вулканических пород можно сравнивать только одну составную часть этих жил — жильные минералы. Главную же часть жил составляют, однако, не они, а минералы тела жил, состав которых не имеет такой аналогии с фумарольными процессами; связь его с летучими соединениями не выяснена и м. б. отсутствует.

Нельзя забывать еще одного аналога пегматитовых жил — *жилы кремнеземистого стекла*, богатого водой, связанные с вулканическими породами. Среди них есть аналоги пегматитовым жилам по отношению к концентрации химических элементов. Таковы, напр., пехштейновые жилы в Саксонии, богатые Cs и Rb. Эти образования до сих пор чрезвычайно мало обращали на себя внимание и остаются неизученными.

**121.** Но в магме, наряду с выделением ее частей, богатых водою, происходят при еще более высокой температуре, передвижения ее масс, заплот-

няющих трещины или цилиндрические пустоты. Этим путем в связи с движением жидких, богатых газами, составных частей магмы образуются минеральные тела, отличные от раньше рассмотренных. Чрезвычайно характерной чертой их является отход в них на второй план химических реакций, связанных с присутствием водяных паров. Газы, которые играют большую роль в их образовании, не являются парами воды и очевидно обладают более высокой температурой.

Морфологически эти образования могут быть разбиты на две большие группы, при чем генетически в каждую группу соединяются жилы очень различного происхождения:

1. Жилы, заполненные магмой — алюмокремневой, расплавленной жидкой массой, давшей при застывании т. наз. *жилую породу*. Сюда относятся разные *дайки, некки, жилые породы*.
2. Жилы, в значительной мере заполненные рыхлым материалом, образовавшимся при взрыве газов в такой жидкой расплавленной магме. Капли такой распыленной взрывом магмы застывают отдельно, образуя пенел, он же получается при таком взрыве благодаря превращению в пыль твердой породы. Сюда относятся *диатремы*, с которыми мы уже встретились, когда мне пришлось говорить о водных жилах (§ 101-102).

Среди жильных пород необходимо различать тела очень разнообразного происхождения. Я уже указывал дейки стекла (§ 120), которые иногда являются вулканическими аналогами пегматитовых жил. *Дейками* (от англ. *dykes*) называют трещины, заполненные расплавленной магмой, позже застывшей. Раньше дейками назывались только жильные образования, связанные с вулканическими породами но постепенно то же обозначение распространилось и на другие аналогичные случаи.

**122.** *Жильные породы* связаны с глубинными магмами самого разнообразного типа. Они важны для нас потому, что при их образовании выделяются такие минералы или такие ассоциации минералов, которые обычно в горных породах не образуются. Происходит это по двум причинам: 1) при движении магмы к верхним частям земной коры в встречающиеся узкие трещины выделяются ее части более подвижные или богатые газами, более легкоплавкие и наименее вязкие, 2) эти части охлаждаются быстрее основной магмы, вещество в них раньше выкристаллизовывается, и к ним притекает аналогичное вещество из главной магмы и 3) условия застывания, а следовательно, и химические реакции здесь иные, чем в главной массе магмы.

Вследствие всех этих причин здесь нередки минералы, образующиеся при действии летучих составных частей магмы (напр., турмалины, роговые обманки), есть жильные породы, очень близкие к эвтектическим смесям (*аплиты*, состоящие, главным образом, из полевого шпата и кварца, связанные с гранитными магмами, и т. д.). Состав жильных пород меняется в связи с изменением и застыванием питающего их очага магмы. Нередко наблюдается такая дифференциация вещества жил: вначале, ближе к стенкам, выделяются жильные породы темные, более тяжелые, богатые железом — позже (к середине жилы) они заменяются более легкими, бедными железом, светлыми породами.

Но я не могу здесь сколько нибудь подробно касаться жильных пород, которые в последнее время обратили на себя большое внимание петрографов. Жильные породы, связанные с дислокационными трещинами и с процессами застывания магм в глубоких слоях земной коры, образуют *жильные поля* аналогичные полям водных жил.

Есть случаи жильных пород несколько иного типа, как по составу, так и по способу образования. Таковы заполненные и позже открытые денудацией каналы, по которым подымались вулканические породы во время извержения. Это т. наз. *некки* (*necks*). В них порода застывала под давлением и является частью массивной изливающейся породы.

Эти каналы обычно связаны с взрывами газов во время извержения и являются как бы переходом к диатремам, от которых их иногда очень трудно отличить.

*Диатремами* называются более или менее цилиндрические каналы, уходящие на большую глубину, заполненные изверженной породой, обычно туфовидной, и образовавшиеся путем взрыва газов. Этот взрыв происходил едва ли на меньшей глубине, чем 1000 метров, что и обуславливает глубину диатремы. Сама туфовидная порода образовалась в разрыхленном состоянии в связи с газовыми взрывами. Мы увидим, что диатремы связаны с генезисом определенных минералов, напр., алмаза.

В диатремах наблюдается концентрация некоторых элементов, к сожалению, не изученная. Напр., некоторые диатремы около Ураха (Вюртемберг) богаты цезием.

**123.** Все указанные типы жильных минеральных тел до сих пор изучены очень мало. Долгое время обращали на себя внимание только рудные водные жилы, связанные с добычей тяжелых металлов. Здесь уже в XVI веке был сведен опыт немецких, шведских, чешских и итальянских рудокопов, накопленный веками рудной работы. Этот опыт вылился в XVIII веке в целое учение о рудных жилах, которое легло в основу учения о рудных месторождениях. В работах Вернера ясно выдвинулось значение воды для генезиса этих жил. В этих вопросах еще

раньше работал деятельный ум Ломоносова. Другие типы минеральных жильных тел вошли в жизнь и в общее сознание гораздо позже, в XIX веке, но общий характер их начал выясняться только в конце прошлого столетия.

Литература о водных минеральных жилах указана в § 87 в книгах по рудным месторождениям, где дана и литература этого вопроса.

См. еще В. Cotta и J. Müller. Gangstudien. I—IV. Fr. 1850—1861. J. Müller. Die Erzgänge d. Freiberg. Bergrevier. L. 1901. L. de Launay. Annales des Mines. (10). 3. P. 1903. F. Sandberger. Studien üb. Erzgänge. I—II. Wiesb. 1882—1885.

Для сухих трещин см. J. Königsberger. Studien üb. alpine Minerallagerstätten. I—III. M. 1918—1921. (Abh. Bayer. Akad.)

Для пегматитовых жил см. C. Brögger. Zeitschrift. f. Krystall. XVI. L. 1896. *Его же*. Die Mineralien d. Südnorweg. Granitpegmatitgänge. I—II. Kr. 1906—1919. v. Wolff. Der Vulkanismus. I. St. 1914. Сводки петрографические указаны в § 79.

О типах пегматитовых жил см. В. Вернадский. Изв. Акад. Наук. II. 1914.

Для жильных пород см. работы по петрографии, особенно Н. Rosenbusch. Mikrosk. Physiogr. d. Miner. u. Gesteine. II. L. 1907—1908.

О диатремах см. А. Geikie. The geology of Eastern Fife. Gl. 1902 p. 200. (Mem. Geol. Survey of Scoll.) Branca. Schwäbens Vulcan Embrionen. St. 1894 (Jahreshefte naturw. Ver. Württemberg. 50). См. ниже алмаз.

## 6. Четвертая группа минеральных тел.

**124.** В эту группу включены минеральные тела, которые тесно связаны с минеральными жилами по условиям своего образования, но отличаются от них по своей наружной форме. Это тесная смесь минеральных жил и прожилков с окружающей их, измененной м. б. ими же, породой. Они изучены чрезвычайно мало, но очень обычны.

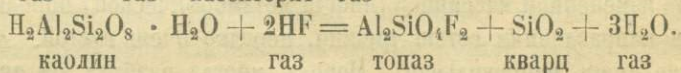
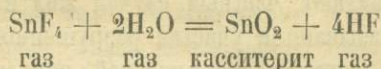
В области массивных пород сюда относятся *штокверки* и *хонолиты*. В метаморфической оболочке можно сюда отнести хонолиты—как увидим, очень неопределенную и неясную группу тел. *Эффлоресценции*, *прожилки* характерны для всех трех типов минеральных тел. *Септарии* образуются в двух верхних термодинамических оболочках.

**125.** *Штокверки* представляют частный случай жил в магматических породах. Штокверками называются участки разрушенной и раздробленной измененной массивной (иногда метаморфической) породы, разбитой по всем направлениям сетью трещин, нередко очень густой. Форма этих участков очень неправильная. Порода иногда разбита на очень мелкие кусочки и затем сцементирована в твердую массу соединениями, заполнившими трещины, при чем главную роль в этом заполнении играли горя-

чие водные растворы. Процесс образования штокверков тесно связан с условиями застывания магмы. В процессе ее застывания объем ее меняется, в застывших частях образуются пустоты и трещины, в которых скопляются летучие составные части, поднимающиеся кверху, и конденсируются пары. Образующиеся в ней пустоты и трещины являются той средой, в которой идут энергичные химические реакции, при чем в первых стадиях преобладают реакции между парами (пневматолитические реакции), главным образом воды, а затем реакции, идущие в горячих водных растворах. Первые генерации минералов штокверка, иногда наиболее важные для человека (в рудном отношении), являются минералами пневматолитическими.

Классическим примером штокверков являются многие месторождения главной руды на олово — касситерита (оловянного камня) —  $\text{SnO}_2$ . Уже Добре (A. Daubrée 1814 — 1896) в первой половине XIX века дал ясную картину его образования, наблюдаемую в разных местах земного шара с одними и теми же общими чертами. Месторождения оловянного камня связаны с кислыми магмами (часто гранитами) и находятся в верхних частях или на периферии их массивов. Это ясно видно потому, что всюду по мере углубления разработок оловянного камня количество руды уменьшается и в конце концов сходит на нет. Прилегающие к этому нахождению оловянного камня части массивной породы сильно изменены. Силикаты и алюмосиликаты породы перешли в новые соединения, разложились — выделились кислые соли, свободные кислоты или разнообразные ангидриды. Так вместо полевых шпатов наблюдаются здесь кварц, каолин (накрит), топаз, богатая фтором и гидроксильными группами слюда (цинквальдит). Сохранились псевдоморфозы, в которых видна наружная форма кристаллов полевого шпата (напр., ортоклаза —  $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$ ), перешедшая нацело в смесь каолина ( $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), кварца ( $\text{SiO}_2$ ), оловянного камня ( $\text{SnO}_2$ ). В цементе штокверка вместе с оловянным камнем находятся разнообразные минералы, содержащие фтор (слюды, топаз, флюорит —  $\text{CaF}_2$  и т. д.). Нередки соединения W, Mo, P, As, B и т. д.

Для объяснения такого строения приходится допустить, что здесь шли реакции между летучими соединениями этих тел при относительно высоких давлениях и температуре, напр.,



Образование трещин и пустот вызвано не только движением газов в застывающей магме и уменьшением ее объема вследствие выделения

их и твердых продуктов, но и разъедающим действием на окружающую среду таких химически активных соединений, какими являются тела в роде HF, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O и т. п. Обычно в цементе преобладает SiO<sub>2</sub>.

Штокверки характерны для соединений O, Si, Al, H, F, Sn, Au, W, Mo, U, Be, Li, B, As, Sb, S, P, Te, Bi, т. е. они являются промежуточными телами между водными конкреционными (метасоматическими) и пегматитовыми жилами.

Нередко в тесной связи с штокверками находятся поля конкреционных жил, и, иногда, штокверки книзу переходят в жилы. В этом смысле интересна связь с оловянными месторождениями месторождений медных <sup>1)</sup>.

**126.** Сходство с штокверками имеют *эффлоресценции* и *прожилки*. Они отличаются от них своими небольшими размерами.

Эффлоресценции и прожилки, в отличие от штокверков, приурочены к осадочным и метаморфическим породам, т. е. генезис их иной. Образование их идет при относительно низком давлении и низкой температуре.

Очень часто наблюдают эффлоресценции для солей. В глинистых породах при их высыхании на поверхности образуется ряд трещин, в которых из водных растворов образуются выделения солей, более или менее заполняющих трещины. Благодаря явлениям капиллярности эти выделения — *выцветы* — солей переходят на поверхность глинистых пород. Так получаются *солонцы*, выцветы солей, столь обычные, напр., в Южной России, сухих областях Азии, Америки, Африки. Книзу эффлоресценции переходят в прожилки, цементирующие разбитую трещинами породу: получаются образования очень аналогичные штокверкам, но резко иного генезиса. Такие прожилки и их системы наблюдаются не только в глинистых породах; они очень обычны (кварц, сульфаты, карбонаты и т. п.) для самых разнообразных пород, главным образом, в верхних частях метаморфической оболочки.

Частным случаем этих минеральных тел должны считаться *селтари*. Это относительно небольшие образования в осадочных породах (коре выветривания или в верхней метаморфической оболочке), иные по составу

---

<sup>1)</sup> Гораздо менее изучены *хонолиты*. Под именем хонолитов — название предложено Дэли — мы будем подразумевать совершенно неправильные образования, связанные с выделением магматических пород, не подходящие к ранее изложенным формам их нахождения. Кроме неправильности формы и магматического их происхождения для хонолитов нет особых признаков. Таким образом это чисто искусственное понятие, имеющее временное значение. Вероятно в дальнейшем ходе научного развития оно само собою отпадет или же заменится иными представлениями. Хонолиты представляют переход от лакколлитов и листов к штокверкам и в значительной части охватываются контактными минеральными телами (§ 131).

по сравнению с окружающей породой (напр., глинистые выделения в песчаных отложениях), разбитые внутри радиальными или иной формы трещинами. Трещины образовались благодаря высыханию или химическому изменению тела септарий. В трещинах выделяются минералы септарий. Это большей частью карбонаты и сульфаты Ca, Mg, Ba, Sr. Иногда наблюдаются сернистые соединения и алюмосиликаты. Все эти минералы выделяются из водных растворов.

Генезис септарий не вполне ясен, и может быть они должны быть связаны с конкрециями (§ 132).

## 7. Пятая группа минеральных тел.

**127.** *Контактом* называется минеральное тело, образовавшееся на границе двух различных по химическому составу или по генезису горных пород.

Всюду на спаях и границах двух разнородных, физически или химически, участков литосферы неизбежно будут наблюдаться особые условия химических реакций. Благодаря различным механическим свойствам двух смежных пород они дадут на контакте пустоты, нередко будут взломаны, так как разное отношение к постоянно проявляющимся в земной коре изменениям давления или температуры. На спаях будут концентрироваться воды и газы, усиливаться химические реакции. В более глубоких слоях земной коры, где увеличивается температура и давление, вблизи места контакта, резко сказываются явления диффузии твердого (и пластического) вещества, и идет проникновение разнородных веществ друг другом; тоже усиливаются химические реакции. Наконец, эти химические процессы идут с особой интенсивностью на спае и вблизи находящихся и передвигающихся в глубинах земной коры магм — расплавленных и полурасплавленных масс, застывающих под сильным давлением, так или иначе медленно теряющих свои газообразные части и переходящих в твердые тела батолитов, лакколитов, массивов и т. д.

По своему генезису контакты могут быть разделены на три категории:

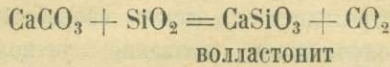
1. Контакты химического характера.
2. Контакты физического характера.
3. Контакты механического характера.

**128.** Наиболее частым проявлением — во всяком случае, наиболее мощным — *контакта химического характера* является действие расплавленной магмы.

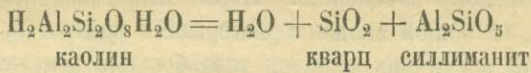
Так, напр., если какая нибудь силикатовая магма на своем пути так или иначе соприкасается с известковыми породами, то  $\text{CaCO}_3$  разлагается,

и  $\text{CO}_2$  выделяется в свободном состоянии. Это один из обычных путей образования той угольной кислоты, которая непрерывно и сейчас всюду выделяется из недр земной коры, указывая нам на постоянно идущие в ней реакции этого рода.

Одной из наиболее простых реакций, здесь происходящих, является, напр., такая:



Не менее резко меняется при этом и другая очень распространенная осадочная порода — *глина*. Глины являются кремнеглиноземистыми кислотами. Одна из самых распространенных глин — каолин —  $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{H}_2\text{O}$  — под влиянием высокой температуры разлагается:



Этот процесс идет и в природе, при чем подобно температуре действует и давление; вместо sillиманита в зависимости от полиморфных свойств сложного ангидрида  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  образуются дистен или андалузит. Богатые андалузитом образования нередко обволакивают застывшие массивные породы, заменяя глины на расстоянии нескольких сотен метров от места их контакта с застывавшей магмой.

**129.** Помимо образования таких контактов с резко выраженным преобладанием химических изменений образуются контактовые образования на границе двух разнородных средин, не связанные с химическим изменением какой нибудь из них. Неодинаковая теплопроводность, разные коэффициенты расширения, различные твердость, водопроницаемость и тому подобные причины неизбежно ведут к образованию на месте соприкосновения трещин, пустот. Налицо все условия для образования жил и прожилков. И действительно сюда начинают просачиваться воды и газы, начинают идти довольно резкие химические реакции, выделяются твердые соединения, цементирующие вновь части земной коры в единое целое. Реакции идут нередко при относительно невысоких температурах.

Это — минеральные тела, отвечающие *физическому контакту*, так как их образование мало связано с химическим характером тех пород, среди которых они образуются.

**130.** Явления *механического контакта* начинают выясняться в последнее время и до сих пор не могут считаться точно установленными. Они наблюдаются главным образом в области метаморфических пород, так как они связаны генетически с высоким давлением. Предполагают, что под влиянием давления в много тысяч атмосфер в пластической неоднородной среде, какой являются породы в этих областях метаморфической обо-

лочки, в них идут химические реакции, обычно не наблюдаемые. Но это влияние давления на ход химических реакций некоторыми исследователями отрицается. Подобно другим явлениям химизма кристаллически слоистых пород, генезис минеральных тел, который объясняется таким образом, очень загадочен.

В области метаморфических пород (напр., в южных частях Гарца, Бельгии и т. д.) встретились с весьма своеобразными контактовыми месторождениями, получившими название *регионального метаморфизма*, являющимися может быть проявлением такого механического метаморфизма.

Этим именем называют участки (*regiones*) земной коры, метаморфические породы которых подверглись веледствие каких то причин особенно сильному химическому изменению. Новые минералы, которые здесь особенно развиты, в общем схожи с минералами контактов, но отличаются от них тем, что среди них нередки тела, богатые конституционной водой (хлориты, тальки, серпентины), и такие полиморфные разновидности, которые не наблюдаются при контактах чисто химического характера (не отвечают высоким температурам, напр., среди минералов группы авгитов и роговых обманок). Получаются тела, обладающие меньшим удельным объемом. Однако в этих случаях не исключена возможность и некоторого влияния магматических пород, находящихся ниже этих измененных метаморфических пород.

**131.** Контактные минеральные тела имеют чрезвычайно неправильную форму. В общем это неправильные *пласты* или *слои*. Размеры их тоже очень различны. Они колеблются от толщины в лист бумаги до нескольких километров (напр., в областях регионального метаморфизма). Очень велики контактовые образования около больших масс массивных пород — напр., около батолитов Маресвилля в Монтане. Баррель указывает контактную полосу, обволакивающую батолит, мощностью 0.8—1.6 километров, при чем частью это выразилось в химическом проникновении в нее вещества батолита (метасоматические явления), частью в перекристаллизации минералов в области, захваченной влиянием застывающего батолита. Мощность контактов физического характера в верхней осадочной оболочке земной коры едва ли превышает 100 метров.

Наиболее сильное влияние на окружающие породы оказывают массивы кислых пород (граниты и т. п.), магмы которых обычно богаты газами, находящимися под сильным давлением. Эти далеко проникающие продукты очень увеличивают поле контакта. Наоборот массивные основные породы сопровождаются небольшой зоной метаморфизации.

Вблизи контакта процесс идет очень энергично; здесь сосредоточиваются жилы и штокверки, которые мы выделяем в отдельные минераль-

ные тела. Но чем дальше от места соприкосновения, влияние температуры и летучих веществ уменьшается, и контактное влияние постепенно сходит на нет.

**132.** То, что происходит в большом масштабе *на границе* различных соприкасающихся пород, происходит в меньшем размере *внутри* пород, вокруг находящихся в них чужеродных тел. Оторочка, вокруг них находящаяся, и измененное чужеродное тело образуют особое минеральное тело с своими особенностями парагенезиса и нередко своеобразными формами минералов. Для вулканических и плутонических тел эти минеральные тела называются *включениями* (enclaves).

С этими минеральными телами впервые встретились в XVII столетии около Везувия, в древнем кратере Монте Соммы. Здесь очень часто можно было встретить прекрасно образованные минералы, включенные в вулканическую породу. При ближайшем исследовании оказалось, что эти минералы получаются в результате взаимодействия между изверженной породой и захваченными кусками посторонней, в ней заключенной, породы, в данном случае осадочной. Поднимаясь из глубины, лава Монте Соммы прорвала слои доломитизированного известняка и вынесла его отдельные куски. На периферии этих захваченных кусков шли усиленные химические реакции. Происходило бурное выделение  $\text{CO}_2$ , скоплялись газы, находившиеся в лаве. Очень часто химическая реакция не успевала дойти до конца, куски известняка не растворялись вполне в лаве, покрывались новыми защищавшими их соединениями, делались в застывающей магме центрами кристаллизации и образования новых, чуждых лаве тел. Таким образом в застывшей лаве—вулканической породе—образовались *включения* с кристаллами разнообразных минералов, некоторые из которых характерны только для этого рода тел. Эти минералы очень хорошо кристаллизуются. В таких включениях нередко силикаты (отчасти алюмосиликаты), богатые (НО), F, Cl, S и т. п. То, что было изучено сперва для Монте Соммы, оказалось широко распространенным в вулканических областях явлением. Минералы включений так или иначе связаны с реакциями, в которых играют большую роль свойства газов. Они нередко выделяются при химическом взаимодействии газообразных компонентов (*пневмолитическим путем*).

К включениям очень близки сферидальные образования *конкреционного характера*, наблюдаемые в массивных, главным образом плутонических, породах. Очень вероятно, они того же происхождения, как и включения, но образовались при больших давлениях, не дававших места тому проявлению свойств газов, какое мы видели среди включений. Обычно они имеют вид различных тел *сферидальной формы* (двигавшихся в расплавленной магме?), нередко больших размеров. Строение таких

сфероидов закономерное. В этих сфероидальных образованиях наблюдаются разнообразные алюмосиликаты, феррисиликаты, шпинели, графит и т. п.

К этим сфероидальным образованиям близки *сферолитовые выделения*, имеющие, однако, совершенно иное строение. Это частью радиально лучистые, иногда скорлуповатые выделения, нередко одного какого нибудь минерала, выделяющиеся при кристаллизации и застывании расплавленной магмы. Сферолитовые выделения нередки в вулканических стеклах, где они являются одной из стадий их застывания. Сферолиты нередко заключают стекло. В поляризованном свете в микроскопе дают характерные особые фигуры (темный и светлый крест). Размеры их никогда не достигают размеров больших включений или сфероидальных тел, и нередко они видны только в микроскоп.

**133.** В области осадочных — частью метаморфических пород — чужеродными телами, вызывающими в породе образование новых минеральных тел, часто являются остатки организмов. Здесь идут — при разрушении органических образований, особенно при первых стадиях изменения организмов — выделения коллоидальных тел. Этим путем образуется значительная часть *стлажений (конкреций)*, необычайно разнообразных как по форме, так и по химическому и минералогическому составу. Конкреции образуются из водных растворов и связаны с тем, что выпадающие при этом минералы — продукты химических реакций или вещества, удерживаемые благодаря абсорбции из окружающего раствора — собираются вокруг какого нибудь постороннего тела в породе. Этим телом может быть и вещество, не связанное с организмами (напр., кусочки каких нибудь минералов, чуждых породе).

Выделение вещества из водных растворов вокруг какого нибудь стороннего тела — их центра — является характерным для конкреций. Форма конкреции до известной степени выражает правильность хода реакции в пространстве в связи с изменением направления.

Повидимому конкреции всегда вначале являются коллоидальными телами — гелями или абсорбционными образованиями. Они выделяются в виде сгустков и лишь позже перекристаллизуются в настоящие конкреции. Некоторые конкреции до такой степени химически закономерны, что могут считаться частными случаями физических смесей. Форма конкреции — кроме различной скорости хода образующих ее химических реакций по разным направлениям — зависит от формы первоначального сгустка или того исходного тела, которое находилось в его центре. Соединяясь вместе, конкреции образуют сложные, нередко очень большие образования. В виде конкреций очень часто встречаются фосфориты, марказиты ( $\text{FeS}_2$ ), халцедоны ( $\text{SiO}_2$ ) и т. п.

Величина конкреций сильно колеблется. Иногда они имеют микроскопические размеры, иногда достигают многих метров в диаметре, образуя так называемые *караван*.

Можно считать, что от них есть все переходы в *изезда*.

**134.** Аналогичны конкрециям так называемые *оолиты* и *стеклянные головы*. Оолиты отличаются от конкреций главным образом правильностью своего строения. Снаружи это овальные или округлые формы, напоминающие сферолиты. В разрезе видно, что они состоят из concentрических оболочек, иногда неодинакового состава. Временами эти concentрические оболочки образованы тонкими волокнами, перпендикулярными к их поверхности. В виде таких оолитов наблюдаются нередко разновидности  $\text{CaCO}_3$  — арагониты, кальциты и т. п. Оолиты очень часто органического образования, и форма их связана с формой исходных для них известковых водорослей. Иногда они образуются химическим путем вокруг посторонних тел неорганического происхождения. Оолиты наблюдаются или свободными в виде рыхлых масс, или же сцементированными в плотные образования. Размеры их доходят до нескольких сантиметров, редко больше, понижаясь до микроскопических величин. В форме оолитов встречаются опалы (коллоиды кремнезема), лимониты (гидраты окиси железа), бокситы (гидраты окиси алюминия) и т. д.

В оолитах гидратов окиси железа скопляются колоссальные количества железных руд — сотни миллионов тонн. По своему строению они очень схожи с *стеклянными головами* — подобно им при растворении гидрата окиси железа в соляной или азотной кислоте — остается «скелет» коллоида кремнезема, опала, вполне отвечающий форме оолита.

Стеклообразные головы были отмечены еще рудокопами. Их размеры больше размеров оолитов, нередко достигают человеческой головы, округлые.

От стеклообразных голов есть все переходы в натечные и сталактитовые формы. Обыкновенно снаружи они имеют вид как бы стеклообразных, блестящих масс черного, красноватого, бурого цвета. Состоят из гидратов окиси железа, марганца и т. д., захвативших другие химические тела (соединения P, Al, S и т. д.).

Форма оолитов и стеклообразных голов отчасти связана, подобно конкрециям, со свойствами коллоидов (выделением гелей и абсорбционных систем). Тесная смесь в них разных тел — напр., коллоидов кремнезема и окислов железа — может быть рассматриваема, как физическая смесь (см. ниже).

**135.** Очень часто наблюдаются в пустотах, пещерах, полостях горных пород характерные образования, имеющие форму конусов, колонок, сосулков и т. п., то спускающихся сверху (*сталактиты*), то поднимающихся снизу (*сталагмиты*). Очень обычны такие образо-

вания для кальцита и арагонита —  $\text{CaCO}_3$ . Сталактиты этих минералов образуются вследствие того, что вода, содержащая в растворе кислый двууглекислый кальций —  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  — просачиваясь по каплям в пещеру в верхней ее части, выделяет по мере испарения и просачивания часть  $\text{CO}_2$ , и кальций выпадает в виде  $\text{CaCO}_3$  <sup>1)</sup>. По мере увеличения количества капель, просачивающихся в одном и том же месте, сталактит растет и может достигать больших размеров. Сталагмиты растут тем же путем на дне пещеры, куда падают капли того же раствора. Явление это значительно более сложное, так как выпадение углекислого кальция идет на поверхности капель воды, при чем вначале выпадают менее устойчивые полиморфные разновидности  $\text{CaCO}_3$ . Нередко молодой сталактит состоит из тонких полых конусов, которые лишь потом заполняются сплошь веществом  $\text{CaCO}_3$  и перекристаллизовываются в обычные разновидности. Эти первые стадии образования натеков очень мало изучены.

Количества  $\text{CaCO}_3$ , выделяемые таким образом в земной коре, огромны — миллионы тонн. Пещеры, наполненные сталактитами и сталагмитами, являются одними из красивейших созданий природы (Мамонтова пещера в Америке, в России — многочисленные пещеры в Крыму и т. д.). При образовании таких пещер нередко наблюдается смыкание сталактитов и сталагмитов, и в конце концов этим путем могут образоваться гнезда углекислой извести.

Аналогичные процессы наблюдаются и для других тел — серного колчедана ( $\text{FeS}_2$ ), гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), опалов, серы и т. п.

Сталактиты идентичны с *натекками*, обычно образованиями меньших размеров. Натёки могут образовываться не только из растворов — они выделяются из жидкого состояния (напр., сосульки льда или серы) и т. д.

## 8. Шестая группа минеральных тел.

**136. Порфи́ровые выделения.** Порфи́ровыми выделениями называются выделения отдельных, со всех сторон образованных, кристаллических многогранников в массивных породах <sup>2)</sup>. Так выделяются кристаллы веществ, образующихся раньше других соединений, в жидкой или полужидкой магме. Это первые генерации минералов породы. Подымаясь в верхние части земной коры или выливаясь на земную поверх-

<sup>1)</sup>  $\text{CaCO}_3$  мало растворим в воде, не содержащей  $\text{CO}_2$ . Но в присутствии  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$  он переходит в легко растворимый в воде  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , устойчивый лишь при значительном давлении и легко диссоциирующий при обычных условиях.

<sup>2)</sup> Название произошло от горной породы — порфира, красота которого, обратившая на себя внимание древних, связана с такими выделениями отдельных кристаллов, резко выделяющихся на фоне породы.

ность, магмы в конце концов застывают в кристаллические или стекловатые породы, в которых оказываются рассеянными многогранники первых генераций. Застывающая позднее сразу основная масса не дает возможности образующимся в ней кристаллам развиться до целых многогранников, контуры их неправильны (образуются зернистая, гранитные и др. структуры). Такие порфиновые выделения очень характерны для некоторых минералов, напр., для лейцита —  $K_2Al_2Si_4O_{12}$  (породы Везувия, Рокка Монфина в Италии и т. д.), санидина —  $(K,Na)_2Al_2Si_6O_{16}$  и т. д. Для многих минералов порфиновые выделения резко отличаются по форме от обычных их находений. Так, напр., кварц очень часто выделяется в этом виде в форме характерных гексагональных пирамид, лишенных призмы (в кварцевых порфирах), тогда как обычная для него форма выделения из водных растворов состоит из многогранников с сильно развитыми призматическими гранями. Это другая — полиморфная разность кремнезема, устойчивая не ниже  $570^{\circ}C$ .

В форме порфиновых выделений наблюдаются алюмосиликаты, силикаты, соединения Р, Zr, редких земель и т. п.

**137. Вкрапленники.** По внешней форме аналогичны порфировым выделениям вкрапленники, отличающиеся условиями своего образования. Это тоже со всех сторон — свободно — образовавшиеся кристаллические многогранники, но они характерны для осадочных и метаморфических пород, не выделяются из расплавленной жидкой магмы.

Так, для разнообразных метаморфических пород (напр., слюдяных сланцев) характерно массовое выделение гранатов <sup>1)</sup>, в виде со всех сторон образованных многогранников. Способ их образования нам неясен, но несомненно они образовались при условиях, когда эта порода была в твердом состоянии. Едва ли можно сомневаться, что они выделились в условиях высокого давления. Аналогично гранагам в виде вкрапленников наблюдаются очень многие другие минералы метаморфических пород — ставролиты, кианиты, оттрелиты и т. п.

Многочисленные вкрапленники известны для осадочных пород — напр., галениты (PbS — в триасовых песчаниках около Мехерниха в Германии и др.), пириты (FeS<sub>2</sub> — очень обычны в глинах и т. п.). В форме вкрапленников нередко встречаются конкреции; между сростками кристаллов, вкрапленников и конкрециями есть все переходы.

Разница между вкрапленниками и порфировыми выделениями заключается еще и в том, что вкрапленники являются позднейшей генерацией месторождения, а порфиновые выделения древнейшей.

<sup>1)</sup> (Ca, Mg, Fe), (Al, Fe)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. (Ca, Mg, Fe)<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub>.

## 9. Седьмая группа минеральных тел.

**138. Литофизы.** Литофизы представляют пустоты внутри массивных пород, в которых выделились минералы, образовавшиеся при участии газообразных и парообразных продуктов. Повидимому, большую роль при этом играют соединения фтора (см. минерализаторы § 118). Так образуются кристаллы топазов ( $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH})_2$ ), некоторых гранатов (напр., спессартина —  $\text{MnAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{Mn}_2\text{SiO}_4$ ) и других алюмосиликатов.

**139. Миаролитовые выделения.** Миаролитовые выделения образуются в массивных породах при их застывании, вследствие изменения их объема, связанного с переходом породы в твердое состояние. В породе этим путем создаются многочисленные пустоты, иногда микроскопически мелкие. В них концентрируются газы и последние жидкие части, сохранившиеся в застывшей магме. Очевидно в этих пустотах идут своеобразные химические процессы, связанные с последними стадиями застывания магм. Минералы таких миаролитовых пустот поэтому во многом отличны от минералов породы. Такие пустоты очень обычны во многих кислых породах, напр., в гранитах. В них выделяют кварц, алюмосиликаты, флюориты, апатиты и т. п.

**140. Жеоды.** По форме с миаролитовыми выделениями сходны жеоды. Это пустоты, заполненные сплошь или же по стенкам продуктами, выделяющимися или при застывании магмы или по ее застывании из водных горячих растворов и паров, в ней сохранившихся. Отличия их от миаролитовых пустот не всегда резкие, но вещество жеод не столь тесно связано с веществом их стенок; оно нередко привнесено много позже образования пустоты.

Кристаллы жеод выделились из водных растворов, а самые пустоты нередко образованы газовыми пузырями, сохранившимися в расплавленной жидкой магме. Газ после затвердевания пустоты в ней не сохраняется, так как полость пустоты не является совершенно замкнутой. Очень характерно нахождение в жеодах вулканических пород огромных количеств богатых водою алюмосиликатов (Na, Ca, Ba, Sr, отчасти K) каолинового строения — цеолитов. Цеолиты выпадают при последних окончательных стадиях застывания вулканических пород, когда температура значительно понизилась, и порода застыла. Очень возможно, что значительная часть их воды поверхностного происхождения. В большом количестве они выделяются в подводных вулканических извержениях при действии морской воды на горячую застывающую лаву. Жеоды, содержащие цеолиты, заключают одновременно с ними и другие продукты химических реакций и на жеодах можно очень легко изучать генерации

минералов, один за другим выполняющих пустоты. Древнейшая генерация ближе к стенкам жеоды, новейшая к ее центру. Очень часта, напр., такая последовательность генераций, начиная с древнейшей — селадонит (феррисиликат калия), цеолиты, кальцит и кварц. В России превосходные жеоды цеолитов наблюдаются во многих местах Закавказья, Забайкальской обл. и т. п. Очень часты жеоды, сплошь заполненные веществом — напр., жеоды агатов, халцедонов и т. п.

В метаморфических породах жеоды наблюдаются очень часто — происхождение их неясно, но может быть иногда связано с процессом, предшествовавшим метаморфизации — с генезисом породы. Очень характерны, напр., жеоды аметиста, кварца в метаморфических породах, богатых кремнеземом.

Размеры жеодов очень различны. Они колеблются от микроскопических размеров до огромных пустот — пещер.

**141. Пещеры.** Пещеры являются частным случаем жеод. Это большие жеоды. Пещеры наблюдаются главным образом в осадочных и в метаморфических породах или в областях дислокационных процессов, где образуются дающие им начало трещины, или среди легко выщелачиваемых водою пород — известняков, гипсов, доломитов. Огромное количество пещер наблюдается в областях размывания известняков, дающих своеобразные картины ландшафта и физикогеографических условий так называемых карстовых областей. Дислокационные трещины в этих выщелачиваемых водой (богатой  $\text{CO}_2$ ) породах тоже дают начало пещерам.

В пещерах очень обычны, как мы видели (§ 135) сталактиты и сталагмиты кальцита и арагонита — но нередки выделения и других тел — селитр, сульфатов, карбонатов, кварца и т. д.

Любопытную форму таких выделений представляют выделения льда в так называемых ледяных пещерах, температура которых под влиянием своеобразных физикогеографических условий держится ниже нуля (таковы, напр., пещеры около Кунгура, ок. Илецкой Защиты и т. д.).

Пещеры, с течением времени сплошь заполненные продуктами, дают гнезда (§ 91).

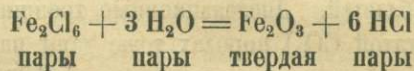
**142. Друзы или щетки.** Близки к жеодам друзы или щетки. Друзы обычно выделяются из водных растворов, хотя условия их выделения бывают нередко довольно сложными. Друзами или щетками называются группы кристаллов, сидящих одним своим неразвившимся в многогранник концом на какойнибудь более или менее плоской поверхности, тогда как другой свободный конец кристаллов покрывается ясными, нередко прекрасно выраженными гранями. Кристаллы более или менее параллельны (как это обычно бывает при одновременной кристаллизации); форма их выделений поэтому напоминает щетку. Так очень часто встре-

чаются кварцы, аметисты, кальциты, алюмосиликаты, гипсы и т. п. Стенки больших жеод, пещер, сухих трещин (§ 113) нередко покрыты такими друзами, — напр., — великолепные друзы альбитов ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$ ) около Казбека и т. д.

## 10. Восьмая группа минеральных тел.

**143. Возгоны.** Возгонами мы называем выделения твердых минералов непосредственно из газообразного (или парообразного) состояния как вследствие каких нибудь пневматолитических химических реакций, так и непосредственного сгущения в твердое состояние. Возгоны в огромных количествах образуются на поверхности лавы и на стенках прилегающих к ней пород во время всякого вулканического извержения. Так очень часто образуются возгоны нашатыря, соли ( $\text{NaCl}$ ), сильвина ( $\text{KCl}$ ), серы и т. п.

Нередко возгоны получают путем более сложных химических реакций. Так, напр., почти в каждом вулканическом извержении образуются иногда превосходно выраженные, иногда мелкие пластинчатые кристаллы железного блеска (гематита). Их образование может быть выражено следующей реакцией:



Такие кристаллы были впервые получены и синтетически в начале XIX века Гэй Люссаком, объявившим этим путем их генезис.

Но нередко образуются в виде возгонов минералы более сложного происхождения, не всегда для нас понятного, напр., возгоны алюмосиликатов и силикатов (напр., слюда в туффах вулканов Кампании. Ср. § 138 литофизы).

Возгоны получают и в других случаях, когда на земной поверхности действует высокая температура — напр., во время подземных каменноугольных пожаров (возгоны нашатыря, серы и т. д.).

**144. Налеты (выцветы) и пластинки.** Налеты являются тонкими пластинчатыми образованиями различных минералов, покрывающих какие нибудь посторонние тела. Очень обычны налеты или *выцветы* разнообразных солей, напр., на поверхности почв (солонцы), на дне высохших озер или болот, на поверхности вулканов и т. п. Это более или менее толстые корки солей, выделившихся из водных растворов; в виде них встречаются хлористые соли (главным образом  $\text{NaCl}$ ), сульфаты  $\text{Na}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca}$ , карбонаты  $\text{Na}$  и т. д.

Очень разнообразны пластинчатые образования, напр., выделения пластинок (обычно мелких пленок, но иногда пластин в пуды весом) самородной меди, образующиеся распадением растворов меди (главным образом сульфата) при соприкосновении с разнообразными телами, вызывающими реакции восстановления.

**145. Дендриты.** Очень своеобразную форму нахождения представляют дендриты. Дендритами называются выделения различных минералов в виде разветвленных образований, напоминающих деревцо (откуда произошло и название от греческого *δένδρον* — дерево). Это обычно тонкие пленки и пластинки, выделившиеся на стенках, в пустотах и в трещинах горных пород. Так скопляются иногда значительные массы вещества.

Дендриты большею частью представляют скелетообразные сростки кристаллов. Однако образование кристаллических скелетов не представляет простого и ясного процесса. Оно связано с капиллярными свойствами раствора и может проявляться не только при кристаллизации, но и при свертывании коллоидальных тел. Не исключено в очень многих случаях и влияние организмов, форма которых тоже тесно связана с формой коллоидов.

В виде дендритов наблюдаются очень часто гидраты и водные соли марганца, коллоиды окиси железа (лимонит и т. п.).

**146. Зеркала трения.** К числу таких же более или менее пластинчатых образований принадлежат своеобразные образования, характерные для областей земной коры, подвергавшихся огромным давлениям, связанным с орогенетическими процессами. Во время передвижений огромных масс земной коры, охватывающих твердые участки во многие квадратные километры поверхностью, на месте соприкосновения этих разнородных двигающихся масс развиваются силы давления, превышающие все наши обычные представления. Очень часто поверхности таких двигавшихся масс на огромных протяжениях являются блестящими, как зеркало, плоскостями, откуда получилось и их название — зеркала трения.

В этих зеркалах трения — особенно в областях метаморфических пород — можно наблюдать выделения своеобразных минералов обычно на не очень большое расстояние от места соприкосновения: редко на несколько сантиметров. Так наблюдаются различные силикаты (напр., серпентины, асбесты и т. п.), сернистые соединения и т. д. Генезис этих тел только отчасти может быть связан с позднейшими разнообразными явлениями контактов, на которые раньше указывалось (§ 130). Может быть эти явления связаны с химическими процессами под влиянием давления, и с этой точки зрения зеркала трения заслуживают серьезного внимания.

## 11. Девятая группа минеральных тел.

**147. Пеплы и туффы.** В эту группу минеральных тел я отношу разнообразные рыхлые образования, форма которых очень различна и зависит от обстоятельств их образования.

Среди рыхлых продуктов с массивными породами связаны вулканические пеплы и туффы. *Вулканический пепел* состоит из мелких застывших капель стекла (отчасти захватывающего и отдельные кристаллы), которые выделяются во время вулканического извержения в связи с газовыми взрывами в двигающейся к земной поверхности магме. Пары и газы (в значительной мере пары воды) увлекают высоко в атмосферу капли жидкой расплавленной массы, которые застывают на воздухе в твердые, богатые стеклом образования.

Пепел оседает иногда на большом расстоянии от вулканического очага — на расстояниях, доходящих до многих сотен километров, и образует так называемые *вулканические туффы*. Туффы слеживаются и затем превращаются в плотные вулканические породы.

В туффах под влиянием воды и газов идут многочисленные химические реакции, продолжающиеся еще долго спустя после их отложения, но особенно энергичные в первые годы их отложения, когда температура их еще повышена по сравнению с температурой земной поверхности. В этих особых условиях образуются особые минералы, иногда в других условиях не встречаемые. Особенно любопытны выделения цеолитов.

Все эти явления становятся еще более резкими во время подводных вулканических извержений, напр., так называемые палагониты — богатые цеолитами (Исландия).

**148. Пески и россыпи.** Песками называются скопления мелких округленных или угловатых зерен разнообразных минералов, собирающихся нередко огромными массами.

Пески образуются под влиянием механического разрушения твердых горных пород, благодаря истиранию их деятельностью ветра, ледников, текучих вод, морского прилива, живого вещества и т. д. Подготовкой процесса является их выветривание, т. е. химическое изменение на земной поверхности под влиянием кислорода, воды, углекислоты, живого вещества — напр., при превращении в рыхлую каолиновую глину (каолин —  $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$  и др.) алюмосиликатов каолинового строения (напр., анортклаза  $(Na, K)_2Al_2Si_6O_{16}$ , лейцита —  $K_2Al_2Si_4O_{12}$  и т. д.).

Среди этих рыхлых продуктов преобладают такие, которые дальше в коре выветривания (в биосфере) не меняются и которые труднее под влиянием давления переходят в плотные массы. Поэтому так обычно

преобладают всюду на земной поверхности пески, богатые *кварцем* ( $\text{SiO}_2$ ). Но в отдельных случаях мы имеем скопления в виде песков и других тел, которые являются преобладающей их частью, при чем рыхлые глинистые скопления, благодаря их легкому переходу в плотные массы, обычно отделяют от песков, хотя по существу они принадлежат к этой же форме минеральных тел. Из других минералов преобладают в песках еще: полевой шпат (редко), магнитные железняки, титанистые железняки, кальцит и арагонит (напр., пески коралловых островов), лед (снежные поля) и т. д.

**149.** Когда среди вторичных, не преобладающих по весу, составных частей песка находятся ценные для человека минералы, пески называются *россыпями*, напр., золотые россыпи Урала, Калифорнии, Сибири, содержащие самородное золото, платиновые россыпи Урала (самородная платина), монацитовые россыпи Бразилии (монацит —  $\text{CePO}_4$ , содержащий  $\text{ThSiO}_4$ ) и т. д.

Россыпи имеют практическое значение потому, что из них много легче (т. е. экономически выгоднее) добыть находящиеся в них в небольшом количестве полезные минералы, чем получить их из плотной твердой породы.

В этих россыпях количество полезных минералов обычно ничтожно. Россыпи, заключающие  $n \times 10^{-4} \%$  золота, являются уже им богатыми; разрабатываются россыпи, заключающие  $n \times 10^{-5} \%$  и меньше в зависимости от ценности продукта.

Россыпи обычно богаты глинистыми частицами и большими кусками горных пород, не распавшихся на составляющие их минералы; они незаметно переходят в глинистые образования.

По своей структуре россыпи распадаются на 1) рыхлые россыпи — *современные россыпи* и 2) россыпи, химически сцементированные или превращенные давлением в твердые породы — *ископаемые россыпи* — конгломераты (§ 151).

По генезису россыпи делятся на:

1) *Элювиальные россыпи*, когда пески остались на месте своего возникновения, и составляющие их минералы не перенесены текущей водой в другое место.

2) *Аллювиальные россыпи* — пески перемыты текущей водою, главным образом речные, отчасти озерные россыпи. При этом перемыве несомненно песок обогащается тяжелыми и нерастворимыми частями.

3) *Дилювиальные* или ледниковые *россыпи* — пески образовались вследствие разрушения и истирания горных пород под влиянием движения ледников; они обычно перемыты водами, связанными с таянием ледника; представляют части поддонной морены, б. ч. перемытой.

4) *Морские россыпи* — пески образовались и обогатились более тяжелыми минералами под влиянием морского прибоя, приливов и отливов.

5) *Золотые россыпи* — скопление песков или их обогащение тяжелыми минералами происходило под влиянием ветра.

Все эти типы россыпей имеют различное строение и могут быть точно отличены в природе. Распределение ценных (тяжелых) минералов в них различное. Так, напр., в золотых россыпях они находятся наверху, вследствие сдувания сверху более мелких частиц, в аллювиальных россыпях они находятся внизу, на дне — однако при этом они распределяются внутри россыпи «струями» в зависимости от характера движения текучей воды и т. д.

## 12. Десятая группа минеральных тел.

**150.** *Плотные и землистые массы.* В сущности каждая горная порода является примером таких минеральных тел, но мы относим их обычно в другие группы. Внутри больших минеральных тел разного рода мы наблюдаем для отдельных минералов их нахождения в виде землистых, плотных масс, которые являются для них характерными и могут быть рассматриваемы, как минеральные тела 2-го порядка. Таковы, напр., нахождения различных глин, кремней в осадочных породах, известняках, песчаниках и т. п. К сожалению эти явления очень мало сейчас разработаны и мало обращали на себя внимания с этой точки зрения.

Средь плотных масс можно отметить нахождение в массивных породах силикатовых стекол, напр., гидротахилита, а в вулканических и в осадочных породах других *коллоидальных масс*. Эти образования всегда характерны для земной поверхности, для биосферы и никогда не наблюдаются в других земных оболочках. Таково, напр., нахождение некоторых галлуазитов ( $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot 2H_2O$ ), гургоффана  $[(Mg.Ca)CO_3]$  и т. п. Обычно наружная форма этих образований — выделений гелей — зависит от формы тела пустоты, в которой они выпадают из коллоидальных растворов. В отличие от конкреций (§ 133) мы имеем здесь вероятно застывание гелей в форме студней.

**151.** Следует отметить, как особое минеральное тело сюда принадлежащее, *брекчии* и *конгломераты*, которые являются вторичным изменением рыхлых пород, песков и т. п. Это рыхлые обломочные массы, превращенные в плотные породы благодаря тому, что отдельные их части цементированы вновь выделившимися соединениями. Мы различаем здесь сторонние осколки, песчинки, обломки и цементирующий их, выделившийся из раствора *цемент*. Этот *цемент* частью состоит из тел, выделенных из водных растворов, как, напр., кварца ( $SiO_2$ ), кальцита

( $\text{CaCO}_3$ ), гидрата окиси железа (лимонита  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{HO})_6$ ) и т. п. Иногда же цемент образован из мелких спрессованных частей, в конце концов связывающих рыхлые обломки.

Брекчии и конгломераты отличаются по форме осколков. Брекчии состоят из угловатых кусков, конгломераты из окатанных водою. Образуются они благодаря механическому разрушению горных пород очень различным путем.

### 13. Псевдоморфозы.

**152.** Можно отнести к минеральным телам так называемые псевдоморфозы, изучение которых играет большую роль в минералогии.

Изучая особенности какого-нибудь минерала, тщательно замечая форму и комбинации его кристаллов, характер их плоскостей, цвет и другие физические свойства минерала, можно по одному его внешнему виду, в частности внешней форме, совершенно точно *определить минерал*, т. е. знать его химические свойства и условия его образования. При таких определениях давно заметили, что некоторые вещества встречаются в форме, им несвойственной. На значение таких случаев для выяснения процессов генезиса минералов обратили внимание впервые Вернер, а затем главным образом Брейтгаупт. Эти случаи нахождения минерала в несвойственной ему форме, т. е. в форме, отвечающей другим минералам, были названы *псевдоморфозами* <sup>1)</sup>.

Изучение псевдоморфоз позволяет выяснить ход химических процессов в данной местности, их изменение во времени. Этим путем можно совершенно точно восстановить химические ее реакции и бывшие в ней минералы иногда всецело исчезнувшие.

Неудивительно поэтому, что внимание многочисленных ученых было обращено на эту область исследования (Блюм, Рот, Фом-Рат, Еремеев, Майре и др.) особенно в XIX веке. К сожалению за последние десятилетия интерес к этим вопросам ослаб, хотя, несомненно, этот метод изучения химии земной коры не может во многих случаях быть заменен никаким иным. Именно благодаря изучению псевдоморфоз, выяснилось, что в природе идут многочисленные химические реакции, совершенно неизвестные в наших лабораториях, часто совершенно неожиданные для современного химика.

**153.** *Псевдоморфозой* в широком смысле мы будем называть такие минералы (или такой минерал), которые будут являться в наружной

<sup>1)</sup> Ложными формами.

форме (кристаллы, конкреции и т. д.), свойственной другому минералу или другому какому нибудь телу (напр., организмам).

Наружная форма псевдоморфозы не отвечает внутреннему ее строению и ее составу. Если псевдоморфозы состоят из кристаллического вещества, то они чрезвычайно редко дают один однородный кристалл, а большею частью состоят из многих, различно расположенных (ориентированных в пространстве) кристаллов. Очень часто псевдоморфоза, по наружной форме отвечающая одному минералу, состоит из нескольких минералов. Очень многочисленны псевдоморфозы, наружная форма которых отвечает организмам — животным и растительным. Это так называемые *окаменелости*. В таком случае минерал заменяет нередко все ткани и скелетные части организма, сохраняя мало измененной его наружную форму. Так, напр., нередко встречаются раковины моллюсков, нацело превращенные в пирит или марказит ( $\text{FeS}_2$ ).

Образование нового соединения или соединений на место старого с сохранением наружной формы последнего указывает на медленный ход процесса, совершавшегося без резкого нарушения внешних условий или указывает на химическую реакцию, шедшую в твердом веществе без обращения его в жидкость или газ.

Различают и определяют псевдоморфозы, называя химический состав исходного вещества и тот минерал, который является в форме данной псевдоморфозы, так, напр., «псевдоморфоза кварца по кальциту» будет означать кварц в наружной форме кальцита, «псевдоморфоза фосфорита по дереву» будет обозначать дерево, превращенное в фосфорит.

Значение псевдоморфоз заключается не только в том, что они дают указание на реакции, происходившие когда то в том или ином месте, но и в том, что они определяют иные, чем ныне, условия, существовавшие в той или другой местности.

Обыкновенно псевдоморфозы в какой нибудь местности образуются массами. Все кристаллы какого нибудь соединения сохраняются в ней только в форме псевдоморфоз. Все органические остатки какого нибудь горизонта оказываются превращенными в одно и то же соединение. Так, напр., очень часто в жильных местностях мы встречаем большие и мелкие кристаллы, на вид гексагональные пластинки комбинации  $\{0001\} \cdot \{10\bar{1}0\}$ , состоящие из массы мельчайших, неправильно ориентированных кристалликов марказита —  $\text{FeS}_2$  — (ромбической сист.). Среди тысяч кристаллов, перебивавших в руках минералогов из разных местностей, ни один не дал никаких следов первоначального минерала. Только чрезвычайно редко в немногих местностях (напр., в Лобене в Хорутании) были встречены пластинки неизмененного исходного минерала, каким оказался пирротин —  $\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$ .

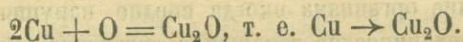
Нередко псевдоморфоза распространяется на целую породу, на весь пласт или слой, захватывая тысячи тонн вещества. Так в центральной России и в Северной Америке нередки отложения известняка (кальцита —  $\text{CaCO}_3$ ), перешедшие в кварц ( $\text{SiO}_2$ ), или сидерит ( $\text{FeCO}_3$ ), или лимонит ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), или красный железняк ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Такая псевдоморфизация наблюдается на пространстве десятков квадратных километров и идет на значительную глубину.

В случае псевдоморфоз мы наблюдаем всегда две генерации — более древнюю, какой в последнем примере является, напр.,  $\text{CaCO}_3$ , и более новую. Когда говорят о псевдоморфозе А по В, то В всегда более древняя генерация, А всегда более новое тело.

Иногда вместо одного исходного тела образуется несколько новых — напр. в некоторых гранитных штокверках Корнваллиса ортоклаз ( $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$ ) дает псевдоморфозы, состоящие из  $\text{SnO}_2$  (касситерита),  $\text{SiO}_2$  (кварца) и каолина ( $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

**154.** Можно различить несколько типов псевдоморфоз. Обычно делят их на *химические псевдоморфозы* и на *псевдоморфозы механические*. Но это деление не вполне отвечает действительности, ибо в огромном большинстве случаев (а может быть и всегда) механические псевдоморфозы могут быть в конце концов сведены на химические псевдоморфозы, правда сложного характера.

Под именем *химической псевдоморфозы* подразумевают такую псевдоморфозу, в которой есть химическая связь между минералом, образующим псевдоморфозу и хозяином ее формы. Иногда такая связь очень ясна, как, напр., псевдоморфоза куприта ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) по самородной меди. Очевидно процесс шел по следующему уравнению



Но гораздо чаще реакция много сложнее. Так, напр., в природе очень часто наблюдается своеобразная псевдоморфоза, известная под именем *окаменелого дерева*. В таких окаменелых деревьях деревья вполне сохраняют самую тонкую свою структуру. Можно отличить кору, сердцевинные лучи, годовые слои; под микроскопом можно различить клетчатое строение древесины, клеточные ядра, изучить скульптуру клеточных оболочек. Однако органического вещества не осталось и следа; оно все нацело перешло в минеральное тело — в *опал*, состав которого выражается формулой  $\text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ .  
(коллоид)

Процесс такого окаменения нередко захватывает огромные пространства — одновременно тысячи деревьев и их остатков переходят в опал. На первый взгляд между опалом и составными частями дерева нет ничего

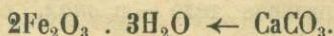
общего. Однако можно убедиться, что процесс окаменения дерева не есть процесс чисто механический. Это ясно уже потому, что сохраняется внутренняя микроскопическая структура дерева; в хороших экземплярах можно изучать гистологию тканей окаменелого дерева так, как будто состав его остался как прежде из органических соединений. Частица опала заменяет частицы органических соединений, при чем иногда объем тела не меняется. Наблюдается процесс очень аналогичный метасоматическим процессам (§ 109).



Вначале в растворе (коллоидальном) находятся коллоиды кремнезема, в конце реакции органические соединения <sup>1)</sup>. Очевидно, это не те органические соединения, которые составляли ткани дерева. Они химически изменились и перешли в новые, растворимые в воде в условиях окремнения формы. Как происходит этот переход, мы не знаем. Однако, по видимому, это зависит от химического состава дерева, так как окремнению подвергаются определенные виды деревьев всегда богатых кремнием и при жизни. Есть данные думать, что окремнение есть процесс биохимический, связанный с жизнедеятельностью микроорганизмов.

Точно также не является чисто механическим и другой обычный процесс образования окаменелостей — превращение разнообразных остатков организмов — растений, в частности древесины, моллюсков и их раковин, костей животных и т. п. — в марказит (позже в пирит) —  $\text{FeS}_2$ . Здесь процесс окаменения связан с бóльшим изменением объема, и потому внутреннее строение организма иногда вполне нарушено — но это тоже не есть простое механическое замещение организма новым химическим осадком. Это сложный химический процесс, в котором нередко значительная часть железа и серы происходит из органических соединений разрушающегося организма, хотя может быть не из тех органов, в которых в конце концов сосредоточивается  $\text{FeS}_2$ .

**155.** Не менее сложны процессы, наблюдаемые и среди минералов. Так очень обычны во множестве мест земной коры псевдоморфозы коллоида — лимонита ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  по кальциту ( $\text{CaCO}_3$ ):



На первый взгляд между этими двумя соединениями нельзя представить себе ничего общего, и долгое время эти псевдоморфозы считались характерным примером механических псевдоморфоз. Однако удалось убе-

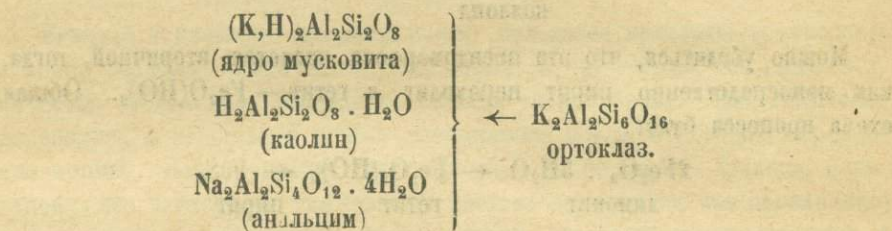
<sup>1)</sup> Может быть частью переходят в газы.



**156.** Уже из изложенного ясно, что явления псевдоморфоз являются закономерным процессом, и мы можем вывести из их изучения общие законности химических процессов земной коры.

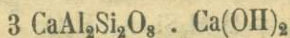
С этой точки зрения особенно хорошо сейчас изучены псевдоморфозы биосферы, которые дают возможность обосновать многие законности процессов *выветривания*.

Так, напр., для ортоклаза и для других первичных — ювенильных и фреатических — алюмосиликатов того же химического строения (альбит, плагиоклаз, лейцит и т. п.) наблюдаются в огромном числе местностей одни и те же псевдоморфозы — в каолин, в мусковит (гидромусковит), в цеолиты, напр., в анальцит:



Все эти процессы идут на земной поверхности под влиянием действия воды, углекислоты, органических веществ; вносятся в состав данного тела Na, H — уносятся Ca, Mg, K, Si, Fe и т. п. Из всех этих тел наиболее устойчивы глины (каолиновые) — свободные кремнеглиноземистые кислоты. Они образуются из всех без исключения алюмосиликатов каолинового строения. Для них всех известны псевдоморфозы из каолина. Псевдоморфозы позволяют нам точно выяснить генезис каолиновых глин, огромные количества которых мы видим кругом нас.

Этим путем мы можем проникать, как мы увидим, и в строение исходных или получаемых продуктов. Так, напр., эпидот —  $\text{Ca}_2\text{H}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{30}$  — очень часто образуется из плагиоклазов (в частности из анортита —  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) и из других алюмосиликатов каолинового строения (т. е. с ядром  $\text{MAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ). Это указывает нам на его строение — на существование в нем *каолинового ядра* —  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . Формула эпидота может быть написана:



Эпидот получается иногда при процессе выветривания, чаще в верхней метаморфической оболочке. Процесс образования его более сложен, так как формула его почти всегда отвечает соединению —  $3 \text{Ca}(\text{Al, Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$

Псевдоморфозы фреатические и ювенильные изучены очень мало, но, очевидно, их изучение должно открыть нам много нового, ибо область

этих явлений еще менее доступна нашему опыту, чем область процессов выветривания.

**157.** Я уже указывал (§ 152) на ход развития наших идей о псевдоморфозах.

Литература о них огромна, но новых сводок нет. Значительная часть старых работ сведена у Блюма — R. Blum. Die Lehre von d. Pseudomorphosen. L. 1843. Nachträge I—IV. L. 1845—1879. Затем см. J. Roth. Allgem. u. Chem. Geologie. I—III. В. 1879—1891. Об английских псевдоморфозах см. H. Miers. Mineral. Magazine. 11. L. 1897.

Работы П. В. Еремеева не собраны. См. указатель его статей в Биографическо-Библиограф. Словаре Росс. Акад. Н. I. П. 1918.

#### 14. Парагенезис.

**158.** *Минеральной ассоциацией* называется *совместное* нахождение минералов в природе в одном и том же минеральном теле. В псевдоморфозе минеральная ассоциация разделена во времени.

Все минеральные ассоциации, известные для какого нибудь минерала или химического элемента, составляют его *парагенезис* (§ 80 сл.).

*Учение о парагенезисе* имеет задачей выяснение общих закономерностей парагенезиса всех минералов.

При определении парагенезиса какого нибудь минерала необходимо точно определить:

- 1) *Минеральные тела* (§ 79 сл., табл. § 86), в которых он встречается.
- 2) *Минеральные ассоциации*, которые при этом наблюдаются.
- 3) *Генерации* (§ 108) *минералов ассоциаций*, т. е. определение того, какие из минералов ассоциаций древнее или моложе по отношению друг к другу.

**159.** Учение о парагенезисе лежит в основе современной минералогии. Лишь путем точного и полного изучения парагенезиса минералов можно подойти к широким обобщениям в этой области знаний.

Начала этого учения связаны с древними наблюдениями рудокопов, искавших «указателей» — спутников металлических руд и драгоценных камней. Они первые — не зная того — изучали минеральные ассоциации.

Позже, в середине XVIII века в работах шведских и немецких, отчасти английских горных деятелей эти наблюдения были сведены в учение о «минеральных матках», в которых зарождаются, т. е. находятся руды металлов и драгоценных камней. Петербургские академики И. Лемани (ум. 1767) и М. В. Ломоносов подходили этим путем к точному учению о парагенезисе.

Но лишь в конце того же XVIII столетия во Фрейберге А. Вернер ввел эти обобщения в общее сознание. Он указал на значение обстановки, в которой находится тот или другой минерал в природе и пытался дать точные правила определения его *внешних признаков*, т. е. не идеальной его формы и состава, но всех частных, индивидуальных особенностей минерала данной местности. Его ученик Мос (F. Mohs) 1773—1839 соединил с этим наблюдением внешних признаков точное изучение его химического состава и кристаллической формы и наконец в середине 40-х годов XIX столетия другой ученик Вернера Брейтгаупт развил понятие *парагенезиса*, т. е. изучения не только внешней формы, но и его ассоциации с другими минералами.

Брейтгаупт не явился новатором, он свел в одно целое идеи, высказываемые издавна многими и развивавшиеся независимо. Минералоги конца XVIII, начала XIX века во Франции или Великобритании, как, напр., Де Ромэ Делиль (I. De Romé Delisle 1736—1790), аб. Гаюи, Прайе (W. Pryce 1725?—1790), Джемсон (R. Jameson 1774—1834) и другие независимо от Фрейбергской школы развивали и разрабатывали те же самые положения.

В конце XIX века учение о парагенезисе получило огромное практическое значение в учении о рудных месторождениях. Коллективной работой ученых и горных деятелей всех стран—в связи с мировым рэстом добычи полезных ископаемых—собран огромный фактический материал, и достигнуты многочисленные частные обобщения. Среди этой работы выделяются широким охватом работы северо-американских горных инженеров (§ 10).

Собранный огромный научный материал далеко не разработан теоретической мыслью, и нет сейчас полной сводки добытых наблюдений.

**160.** Таким образом учение о парагенезисе выросло из точного наблюдения рудных, главным образом, жильных минералов. В начале XIX столетия оно было распространено на все природные тела, без всякого отношения к их значению в человеческой жизни. Во второй половине XIX века введение микроскопа в петрографию сильно раздвинуло область этих явлений, особенно в среде массивных пород. В настоящее время изучение парагенезиса микроскопически-мелких минералов, благодаря применению микроскопа и изучению в нем непрозрачных тел, захватывает и область осадочных пород, и водных металлоносных жил.

Определение парагенезиса минерала—возможно точное и полное—является основной работой в выяснении химии земной коры. Оно налагает свою печать на всю работу и все достижения минералогии.

Огромное количество парагенетических данных, находящихся в нашем распоряжении, является чисто эмпирическим материалом. Только иногда мы можем объяснить парагенезис.

Это объяснение является, однако, задачей науки, и успехи минералогии заключаются в нахождении закономерностей парагенезиса, причин, вызывающих нахождение тех или иных минеральных ассоциаций.

**161.** Минералог определяет парагенетически каждое нахождение минерала. Он при этом точно указывает земную оболочку, где этот минерал находится или находился, его минеральное тело, его минеральную ассоциацию, его генерацию и все индивидуальные особенности каждого минерала ассоциации. Измеряются кристаллические многогранники, изучаются: характер их плоскостей, оптические свойства, цвет, блеск, их состав и т. под. Все эти свойства колеблются в известных пределах для каждого минерала, различны для него для каждого его местонахождения (§ 79 сл.); в изученных случаях можно по характеру ассоциации и по особенностям ее минералов точно определить, откуда, из какой местности происходит тот или иной минерал. В огромном большинстве случаев можно всегда найти признак, который отличает одно местонахождение минерала от другого его нахождения.

Точно парагенетически определенное нахождение минерала минералог называет *месторождением* минерала. Изучение месторождений всех стран — самое тщательное — составляет задачу *топографической минералогии*.

**162.** Топографическая или описательная минералогия лежит в конце концов в основе всякой научной минералогической работы.

Ее задачей является точный каталог месторождений всех минералов всего земного шара. Она входит таким образом в круг тех научных дисциплин, охватываемых коллективным многовековым трудом человечества, которые научным образом описывают все естественные тела в их нахождении в природе — звезды, туманности, растения, животные, кристаллы, горные породы, почвы, химические соединения и т. п.

Постепенно выработались точные правила такого описания, и, постоянно совершенствуясь, работа ведется неустанно с середины XVIII века, особенно энергично за последнее столетие.

Целый ряд местностей Европы и Северной Америки довольно хорошо изучен минералогически, но и некоторые части других континентов известны в основных чертах своей минералогии, как, напр., Алтай, Япония, Цейлон и некоторые части Индии и Восточной Сибири, части Австралии, Зондских островов, Южной Америки, Гренландии.

Все же огромные участки земной коры, напр., Китай или антарктические страны, едва затронуты.

**163.** Как всякая описательная научная работа, и эта работа человечества никогда не может быть закончена: постоянно открываются все новые свойства тел, находятся новые методы исследования, зарождаются

новые проблемы, открываются новые минералы. Старый описанный материал вновь перерабатывается.

Однако, нельзя приступать к новым проблемам, не сделавши предварительно той описательной топографической работы, которая ведется эти столетия.

Можно идти дальше, только основываясь на ней.

Мировой каталог минеральных месторождений носит характер архива. В наших коллекциях сохраняются образцы минералов, которые уже не существуют большею частью в тех местах, где они были найдены. Человек меняет лик природы, вырабатывая для своих потребностей и изменяя минералы, нередко существовавшие раньше десятки и сотни миллионов лет неизменными.

Выработанные рудники бросаются, становятся недоступными. Для жильных месторождений, особенно богатыми оказываются области выветривания (§ 81), железных шапок (§ 103, 107). Они при добыче металлов вырабатываются первыми.

Таким образом, еще больше, чем для организмов, в их ботанической и зоологической географиях — топографическая минералогия дает нам представление о минералах, находившихся в данном месте в *девяственной природе*. Огромное количество тел, указываемых в наших описаниях, уже не находится в данной местности.

В наших больших минералогических собраниях сохраняются образцы с конца XVII века, правильно и в большом числе — с конца XVIII века. XIX век представлен уже хорошо. Отдельные экземпляры восходят к более древним векам. Уже в эпоху возрождения в XV — XVI столетиях собирались минералы, а еще раньше веками сохранялись драгоценные камни, иногда в неограненном виде.

Значительная часть этого собранного материала еще научно не вполне обработана. Большие собрания мирового значения часто связаны с академиями, с университетами, с горными школами. Британский Музей в Лондоне повидному сейчас стоит на первом месте по количеству и качественному подбору материала. С ним конкурируют превосходные, быстро растущие минералогические собрания Соединенных Штатов Северной Америки — в Вашингтоне, Нью-Йорке, Чикаго. В Европе, кроме Лондона — превосходные собрания находятся в Эдинбурге, Христиании, Стокгольме, Копенгагене, Ленинграде (два: Академии Наук и Горного Института), Москве, Берлине, Бонне, Мюнхене, Фрейберге, Вене, Праге, Будапеште, Цюрихе, Женеве, Риме, Флоренции, Неаполе, Париже (два: *École des Mines* и *Muséum d'histoire naturelle*), Мадриде и т. д. Меньшие собрания — нередко очень ценные — расселены по всему континенту.

**164.** Охватывая весь описанный или собранный материал можно видеть, что для каждого минерала, на ряду с особенностями его месторождений, мы наблюдаем повторяющиеся в самых разнообразных местностях, в разных или определенных термодинамических или иных земных оболочках одинаковые черты его парагенезиса.

Изучение этих повторяющихся условий парагенезиса дает нам возможность установить для каждого минерала основные черты его истории. В дальнейшем изложении мы берем их за исходные при изложении истории минералов земной коры.

При этом мы будем — по возможности — всегда определять, имеем ли мы дело с *ювелильными*, *фреатическими* или *вадоными* минералами (§ 77).

Необходимо также всегда точно знать, в какой термодинамической оболочке находится месторождение данного минерала — находится ли оно в области *выветривания*, *метаморфизма* или *магматизации* (§ 29, 81).

**165.** История всех минералов, как она выражается в их парагенезисе, представляет постоянно идущую смену выветривания, метаморфизма, магматизации — их постоянно идущего изменения в зависимости от их положения в земной коре.

Это положение — переход из одной термодинамической оболочки в другую совершается под влиянием геологических факторов. Их изучение является предметом исследования геологии.

Геологические факторы действуют с различной интенсивностью во времени. Вследствие этого процессы изменения минералов идут большей частью периодами с длительными остановками.

В общей массе литосферы только относительно небольшая ее часть находится в вечном изменении — минералы биосферы, особенно в областях, богатых жизнью или остатками организмов, верхние части магмосферы, отдельные участки, богатые водою — границы водных бассейнов или части, прилежащие к двигающейся воде — в артезианских грунтовых водах, в минеральных источниках.

Изучение явлений радиоактивности открыло нам удивительную картину химической неизменности молекулярных структур — минералов — в течение миллионов, десятков миллионов лет. Главная масса земной коры находится в таком неподвижном, химически латентном состоянии. В химических реакциях в каждый данный момент участвует ничтожная часть массы земной коры.

Продолжительность существования минералов земной коры очень различна — от неизмеримых долей секунды (напр., радиоактивные газы, соединения почв и т. п.) до десятков и сотен миллионов лет.

Подобно тому, как все мироздание нам представляется состоящим из частей различного возраста — такой же мозаичный по времени характер имеет и материя земной коры.

**166.** Можно убедиться — и мы увидим это во всем дальнейшем изложении — что процессы выветривания, метаморфизма, магматизации остаются неизменными в течение всего геологического времени. Физико-географические условия всех земных оболочек, несомненно с архейской эры, остаются неизменными. В частности, напр., температура земной поверхности и состав нашей атмосферы был за все эти десятки или сотни миллионов лет очень близок, может быть, и совсем подобен, современным условиям. Это вытекает из того, что в архейскую эру явления выветривания были те же самые, как и в настоящее время.

Всюду для каждого минерала мы наблюдаем один и тот же парагенезис в течение всего геологического времени.

**167.** Можно заметить (§ 60) только одно изменение в связи с геологическим временем, имеющее, повидимому, периодический характер.

В некоторые геологические периоды наблюдается более интенсивное образование тех или иных минералов. Это увеличение их количества, их значения в истории земной коры не длится геологически долго — скоро вновь устанавливается обычное равновесие.

Эти явления мало изучены, но, повидимому, очень обычны. Так раза четыре, пять повторялись на земной поверхности, в, так называемые, ледниковые периоды — в кембрии, пермокарбоне, плейстоцене и т. д. в другие — скопления ледяных масс. Некоторое время они держались, а затем столь же неизменно исчезали, возвращались к старым размерам.

Для оловянного камня —  $\text{SnO}_2$  — наблюдались по крайней мере два разных периода его максимальных скоплений — в архейской эре и в третичный период (повидимому, эоцен) в Америке, Тоскане и т. д. В эти два интервала времени выделились главные его массы. Для главных медных соединений, повидимому, такие усиления их образования наблюдались четыре раза — в кембрийский, пермский, триасовый и третичный периоды. Едва ли мы наблюдаем здесь полную синхроничность этих явлений во всех местностях, но несомненно известное усиление и ослабление образования тех или иных минералов в земной коре на протяжении геологического времени часто наблюдается. Очень резко это сказывается в истории каменного угля.

Причины этих явлений неизвестны.

**168.** При определении парагенезиса и отдельного минерала и отдельного минерального месторождения важное значение имеет определение последовательности *генерации* в месторождениях или в минеральных телах, о чем уже несколько раз приходилось упоминать (§ 108),

Мы называем *генерацией* последовательность выделения минералов одного и того же месторождения. Одновременно выделенные минералы принадлежат к одной и той же генерации.

Последовательность генерации есть очень прочный закономерный парагенетический признак. Можно большею частью безопасно определять ее в отдельных кусках с уверенностью, что то же самое явление повторяется в природе в большом масштабе для всего месторождения.

Определение генераций дает нам возможность изучать смену химического процесса в данной местности в течение времени.

Очень ярко и просто генерации сказываются, напр., в строении конкреционных водных металлоносных жил. Очень часто такие жилы на большем или меньшем протяжении имеют симметричный характер, т. е. по обоим стенкам их располагаются одинаковые минералы. Как мы уже видели, в таких жилах первыми генерациями будут минералы, ближайšie к стенкам; самые новые образования находятся ближе к центру жилы (§ 110). Так, напр., в жилах никелевых руд в Шнееберге в Штирии наблюдается следующее строение, хорошо видное в отдельных кусках: по стенкам (с обеих сторон) отлагался сперва медно-красный NiAs, он сменяется (с обеих сторон) серым (Ni, Co, Fe) (As, S)<sub>2</sub>, потом опять появляется NiAs и т. д.; наконец, внутри при смыкании жилы выделился тонкий слой органического вещества. Мы наблюдаем здесь пять генераций, начиная с древнейшей:

1-я: Никколит (купферниккель) Ni As

2-я: герсдорфит (никелевый блеск) (Ni, Fe, Co) (As, S)<sub>2</sub>

3-я: никколит

4-я: герсдорфит

5-я: органическое вещество — жила заполнилась до конца, — «закрылась».

Жильные водные растворы, выделяющие металлические соединения, обычно богаты органическим веществом, иногда углистого, иногда смолистого характера.

Очевидно, отличая генерации, мы даем картину смены химических процессов в данной местности.

Обычно явления, здесь наблюдаемые, гораздо более сложны, и точное определение генераций чрезвычайно запутано и трудно.

Определение генераций имеет значение пока, главным образом, в пределах одного и того же минерального тела.

**169.** Главная литература о *парагенезисе* указана в моем «Опыте описат. минер.» I, II. 1914 стр. 17, 708. См. литературу по полезным ископаемым. § 87, 123, по петрографии § 78. Работы Кенигсбергера — § 123. Огромное значение имеет литература по полезным ископаемым.

Литература по топографической минералогии — В. Вернадский, I. с. 1914, стр. 48 — 113, 717 — 739, 776 — 778. Из более новых важнейшие: А. Lacroix. Minéralogie du Madagascar, 1 — 3. P. 1921 — 1923. World Atlas of commercial geology. I. W. 1921 (Un. St. Geol. Survey). Special reports on the mineral resources of Great Britain. 1915 — 1923 (Memoirs of the Geol. Survey). Monographs on mineral resources with special reference to British Empire. L. 1919 — 1923. (Imperial Institute). R. Brauns. Mineralen d. niederrhein. Vulcangebirge. St. 1922. Естественные Производительные силы России. т. 4. II. 1916 — 1923. (Комис. по изуч. еств. производ. сил при Акад. Наук). F. Schrader, R. Stone a. S. Sanford. Useful minerals of United States. W. 1917. (Un. St. Geol. Surv.). B. Bertles. The ore deposits of Utah. W. 1920. (Un. St. Geol. Surv.). П. Пилипенко. Минералогия Западного Алтая. Т. 1915. О возрасте минералов: А. Holmes. The age of the Earth L. 1915. А. Ферман. Время. II. 1922. Gleditsch. Bulletin de la Soc. Chim. de France. P. 1922.

## VI. Химический состав и физикохимические свойства минералов.

### 1. Общие замечания.

**170.** Познание химического состава, химической структуры тел сделало за последние десять лет огромные успехи, и в настоящее время мы находимся в переходном состоянии интенсивной, быстро меняющейся смены воззрений. Пройдет несколько лет и несомненно наши взгляды получат не только изменения, но многие наши утверждения, носящие несколько гипотетический характер, сделаются более ясными и точными, станут научными истинами.

Эти изменения произошли и присходят под влиянием разнообразных достижений науки.

Два основных принципа выдвигаются в этой области, начинают все больше и больше сказываться в наших представлениях.

С одной стороны, учение о симметрии, охватившее кристаллографию, начинает переноситься на весь окружающий нас мир.

В 1860 году Пастер, исходя из частного случая энантиморфных химических соединений, провидел основное значение этого принципа во всем мироздании, и в до сих пор неполно оцененных глубоких работах П. Кюри мы имеем его расширение на законы физических процессов.

Кюри первый охватил основное значение симметрии в научном познании природы.

В области химического состава, исходя из идей Пастера, Ле Бель и Вант-Гофф положили основание стереохимии — пространственным химическим представлениям — формулам в пространстве соединений углерода. Вернер с успехом перенес эти представления в химию других химических элементов.

Новейшие работы, связанные с изучением атомов, с тем переворотом идей, который мы переживаем в физике, раскрыли перед нами такое значение симметрии в окружающей нас картине мира, которое не было предвидено самыми смелыми мыслителями прошлых времен.

Химия ближайшего будущего должна считаться с симметрией не меньше, чем с ней считается кристаллография. Векториальность строения — т. е. изменение свойств явлений в зависимости от направления — свойственна не только всем кристаллам, но и всем молекулам.

Больше того, те же законы регулируют строение атомов и очевидно и тех мельчайших телц, которые их строят.

Явления симметрии, которые при этом выявляются в стереохимических формулах кристаллических соединений, более глубоки, чем те, которые основываются на пространственных решетках кристаллов, достаточных для объяснения обычных явлений строения кристаллов.

Вместо 32 систем симметрии, кристаллических классов, мы имеем возможность различения здесь 230 однородных группировок точек в пространстве на определенных соизмеримых между собою расстояниях. Они образуют системы стереоэдров и параллелоэдров, замещающих пространство без промежутков, изученных Е. С. Федоровым. В этих точках, отвечающих 230 возможным случаям, располагаются атомы и ионы, строящие химические соединения.

Выведенная разным математическим путем Е. С. Федоровым (1881—1883) и Шенфлиссом (1886) математическая теория охватила огромную область природных явлений и получила значение, вышедшее за пределы первоначальных исканий.

Ход времени блестяще подтвердил творческую жизненную работу Е. С. Федорова, начатую более 50 лет тому назад.

**171.** *Сознание реальности атомистических представлений есть второй основной фактор, перестраивающий наши химические построения.*

Атом оказался сложным телом и помимо него в строении химических соединений, а следовательно, и минералов играют огромную роль свободные или отделенные от атомов осколки или частицы, входящие в его строение.

Их распределение в пространстве — законы их движений — определяются теми же принципами симметрии, какие мы изучаем в кристаллографии.

Правильна мысль Ф. Ринне (1919) объединить все эти элементарные частицы, составляющие материю или энергию, в одну общую группу тел, некоторые законы которых мы изучаем в новой химии. Он назвал *лептонами* — молекулы, атомы, ионы, электроны. К ним мы должны еще прибавить магнетоны. Общие им законности могут быть объединены в единое учение о лептонах.

В области твердых химических соединений возможность проникнуть в эту область лептонов была дана великим открытием М. фон-Лауэ, В. Фридриха, П. Книппинга (1912) действия кристаллов на X-лучи.

Благодаря этому, перед нами открылся целый новый мир явлений, связанный с правильным статически-неподвижным распределением атомов химических соединений в пространстве.

Вскоре (Бори и Ланде 1918) выяснилось, что рентгенограммы кристаллов отвечают не только атомам, но атомам, заряженным электричеством, т. е. ионам. В кристалле — по крайней мере в кристаллах более простых неорганических соединений — нет проявлений молекулярного строения, а видно лишь правильное распределение атомов в пространстве. Существование внутриатомных группировок, однако, несомненно в некоторых случаях, так, напр., в строении кальцита— $\text{CaCO}_3$  — ясна повторяемость группировки  $\text{CO}_3$  (лептилы Ринне). В некоторых телах (напр., в каменной соли  $\text{NaCl}$ ) нет и этого различия между атомами. Основным достижением является возможность совершенно точного измерения средних расстояний между атомами, охват стереохимических формул соединений количественным геометрическим анализом. Атомы расположены на расстояниях  $n \times 10^{-8}$  сантиметра, причем величина  $n$  может быть точно измерена и является основной константой химического соединения.

В настоящее время вполне точно мы можем разбираться только среди более простых тел и более богатых симметрией кристаллических систем.

Но совершенно ясно, что полное решение этой задачи для всех соединений есть вопрос ближайшего времени: успехи научной работы в этой области чрезвычайно быстры.

Уже сейчас эти исследования резко меняют наши представления о химическом строении минералов и должны лечь в основу всех представлений в этой области.

Благодаря им открываются новые, неожиданные правильности.

Метод X-света дал нам не только новое точное доказательство существования атомов, правильного распределения, подчиненного законам симметрии, их самих и их ионов в твердом теле. Он доказал реальность наших старых представлений о структуре химических тел, раньше полученных благодаря изучению химических свойств соединений.

*Структурные формулы химии*, реальность которых еще недавно подвергалась сомнению с логической точки зрения, получила блестящее подтверждение. Получили подтверждение и структурные формулы в пространстве, с таким трудом проникавшие в научную мысль конца XIX столетия.

Новые достижения несколько не разрушили старые представления—они придали им только новую силу. Их значение сказалось и при открытии рентгенограмм кристаллов—в той роли, какую в этом открытии играл П. фон Грот, пришедший путем изучения структурных формул в кристаллохимии к представлению о строении кристаллов из правильно расположенных атомов и увидевший в X-лучах метод проверки этих воззрений.

Не рушили эти достижения и кристаллохимического анализа твердых химических соединений, выдвинутого и разработанного Е. С. Федоровым (1853—1921). Они подтвердили правильность основных положений этого течения научной мысли.

**172.** Подтверждение принципов структурных формул органической химии заставляет иначе относиться к структурным формулам неорганических тел, имеющих, главным образом, значение в минералогии.

Хотя такие формулы давались в неорганической химии, напр., в химии силикатов уже в течение 50—60 лет—они мало входили в сознание исследователей и не играли большой роли в обычных представлениях о структуре минералов.

Отчасти это являлось следствием того значения, какое в химии природных соединений играют такие элементы, как алюминий, самые простые соединения которых, как, напр.,  $Al_2Cl_6$ ,  $Al_2(SO_4)_3$  и т. д. не укладываются в рамки обычных структурных формул химии.

Задача построения структурных формул для этого рода тел была решена—в своей основе—в конце XIX столетия швейцарским ученым А. Вернером (A. Werner 1866—1919), изменившим *идеи о валентности, о сродстве элементов*.

Раньше господствовали представления о неизменности и постоянстве для каждого химического элемента, для его атома, для его валентности, силы его сродства. Несомненно факты химии давно противоречили этим простым представлениям. Если, напр., для углерода можно было для всех известных его соединений принимать его четырехвалентность, придавать его атомам четыре одинаковых связи, то это нельзя было допускать для таких элементов с резко разными типами соединений, как азот или железо с его закисными или окисными соединениями.

Среди многочисленных попыток разобраться в этого рода явлениях наиболее плодотворной явилась попытка Вернера, в основе которой лежит

идея о том, что валентность не есть что нибудь неизменное и постоянное, не есть одинаковое свойство атома во всех его соединениях. Представление о сродствах, принятое в химии, не охватывает все возможные соединения. За пределами принятых во внимание сродств атома существуют другие — дополнительные — регулирующие точно так же как и обычные — его химические соединения и ход химических реакций.

Я не могу здесь вдаваться в изложение теории Вернера. Несомненно, что она — в той форме, в какой она им высказывалась, уже недостаточна, но основная его идея — об изменчивости и различии в разных случаях сродств одного и того же атома, о том, что атом может удерживать в соединении, находиться в нем в связи с большим количеством атомов или их групп, чем это вытекает из обычно придаваемой ему атомности — верна. Так, напр., совершенно ясно, что для таких элементов, как, напр., алюминий, недостаточно для объяснения его соединений обычное представление о его трехатомности. Идея Вернера о характерности для алюминия (и для очень многих других элементов) координатного числа *шести* более отвечает фактам. Алюминий может давать соединения не с тремя одноатомными атомами или группами, а максимум с шестью, причем характер связанных с ним групп или атомов не определяется обычными представлениями об атомности.

Вернер — а за ним и другие — применением этих новых представлений о силах сродства — позволили разобраться в сложной, раньше непонятной, химии комплексных тел: кобальта, платиновых металлов, азота, железа и других элементов.

До сих пор примененные эти идеи к объяснению химической структуры природных тел было невелико, но совершенно ясно, что здесь открывается для них широкая область приложения и что сейчас необходимо пользоваться этим плодотворным в других областях химии методом научной работы.

**173.** Наши структурные формулы химических соединений получают новые подтверждения — так же, как и идеи об изменчивой валентности — в раскрывающейся перед нами сложной *структуре атомов*.

XX-ый век раскрыл перед нами новый мир идей, доказал сложность строения атомов и различия его для атомов разных химических элементов.

Если научное доказательство реальности существования атомов, этих — еще недавно, казалось, — порождений древней философской интуиции, имело огромное значение для изменения и нашего научного мировоззрения и нашей научной работы — еще большее значение имело представление о сложности и закономерности их строения.

Именно этим отличается современное научное представление об атомистическом строении материи от всех бесчисленных атомистических

ее выражений, созданных философской или теологической мыслью прошлого.

В основе наших представлений об атоме господствует теория молодого датского ученого Н. Бора, развившего и придавшего новую форму мыслям английского физика Е. Рutherford. Эти представления явились порождением того движения идей, которое в начале XX столетия было вызвано работой мысли английского физика Д. Д. Томсона (1904 и позже), явившегося по существу новатором в этой области научных исканий.

Хотя и созданные физиками, представления о строении атома по существу являются развитием *химических* идей основываются на эмпирическом материале химии. На этом материале основывалась в значительной мере работа Томсона и сейчас все теоретические представления в этой области определяются рамками великого эмпирического обобщения — периодической системы элементов Д. И. Менделеева (1834—1907).

Для нас теперь ясно, что вся область химических явлений связана с характером процессов, идущих в наружных частях атома, в количестве, в распределении и в движении находящихся в них электронов.

И в то же время процессы, идущие в глубоких частях атомов, приводят к изменению самих элементов.

Элементарные части атома — электроны и протоны — неизменно всегда проявляются в химических процессах и должны быть принимаемы во внимание при их объяснении. Протон в конце концов отвечает ядру атома водорода.

Эти идеи о проявлении строения атома в изучаемых нами химических явлениях теснейшим образом связаны с нашими представлениями о характере химических соединений. Они являются новым подтверждением правильности той научной работы, которая приводит к структурным формулам химических соединений в пространстве. Они находятся в полном согласии с новыми идеями о валентности, о разном характере связи между атомами, зависящими от их строения и от их распределения в пространстве.

Химик и минералог неизбежно должны в настоящее время во всех своих заключениях опираться на эти тесно связанные друг с другом представления — на строение атомов из протонов и электронов, на структурные пространственные формулы химии и рентгенограммы кристаллов, на разные, разным образом распределенные в пространстве, силы сродства. И если до сих пор в огромном большинстве случаев эта задача может быть разрешена лишь отчасти — стремление к ее полному разрешению должно лежать в основе современной научной работы.

Для минералога при этом намечаются новые проблемы, отсутствующие для химика. Он имеет дело с определенным подбором химических соединений в земной коре и его задачей является выяснение причины существования в земной коре именно этих, а не других химических соединений. Он должен определить общие свойственные им особенности и законности, выделяющие их среди всех возможных атомных пространственных структур химии.

**174.** До сих пор мы оставались в области *определенных химических соединений*, подчиненных закону Дальтона.

С атомистической точки зрения именно эти соединения, в которых количество связанных между собою различного рода атомов есть величина определенная и неизменная, должны дать возможность наиболее глубокого проникновения в изучение химических сил средства. Ибо это всегда устойчивая система тел, обособляющаяся в сложной окружающей среде. Они могут в ней существовать благодаря химическим свойствам составляющих их атомов.

Однако, мы давно знаем, что этого рода системы атомов, определенные химические соединения с кратными между ними отношениями, являются частным случаем; наряду с ними существуют *неопределенные химические соединения*, для которых закон Дальтона не выражен ясно, скрыт или не существует.

Именно этого рода тела господствуют в химии земной коры, к ним относится подавляющее число минералов.

Установление атомистического строения материи не могло не отразиться самым существенным образом на наших представлениях о неопределенных химических соединениях. Эти соединения были совершенно понятны с точки зрения динамических идей, но их объяснение казалось более сложным с атомистической точки зрения. Этим объяснялось пренебрежение ими со стороны химиков в течение большей части XIX столетия, когда вся химия основывалась на понятии атома. После замечательных работ Бертолле (С. Berthollet 1748 — 1822) в начале XIX столетия, созданных еще до господства атомистики в химии и быстро в ней забытых, химики вплоть до Вант-Гоффа в конце века пренебрегали твердыми неопределенными соединениями. Вант-Гофф первый обратил внимание химиков на значение этого рода соединений, получивших немедленно огромное значение благодаря изучению металлических соединений, учению о химических равновесиях и развитию физической химии.

В этой области минералогии давно шли своим независимым путем, сводя явления чисто эмпирически, выделяя разнообразные группы неопределенных химических соединений раньше признания их химиками. Работа этих двух течений мысли сомкнулась только в XX столетии.

Благодаря работе, главным образом, минералогов и кристаллографов, получило стройное развитие учение об изоморфных смесях (§ 182), долгое время стоявшее — в этой своей форме — вне кругозора химиков. Но и другие типы твердых неопределенных соединений отличались минералогами задолго до признания их химиками. Диссоциационные системы, твердые растворы воды в силикатах и алюмосиликатах и т. п. выделялись уже в первом издании этой книги (1898), равно как аналогичные тела указывались среди минералов и другими минералогами.

Эмпирический характер этой минералогической работы, выяснение этих явлений попутно, применительно к наблюдаемым в природе частным случаям, отразились на невыработанности их терминологии, неполноте и случайности их изучения, недостаточной точности определений явления.

В настоящее время идет новая большая работа в этой области и неопределенные химические соединения приобретают большое значение не только в минералогии, но и в химии. Они начинают вскрывать нам новые черты строения систем атомов вне их нахождения или их влияния в химии земной коры.

**175.** В химии в XIX веке особое внимание обратили жидкие растворы. На них выяснилась основная черта неопределенных химических соединений, изучаемых в аспекте атомистического строения материи. В теории растворов выработаны были воззрения о химических физически однородных телах, в которых находятся подвижные комплексы атомов и принимают участие осколки их, входящие в состав других движущихся комплексов — ионов. По существу те же воззрения приходится переносить и на *твердые растворы*. Изучение кристаллов в свете X-лучей указало на нахождение и в них ионов; это установление имеет тем большее значение, что оно не находится в зависимости от теории растворов. Многочисленные физические данные указывают на выделение электронов и нахождение ионов на поверхностях кристаллов — в частности изоморфных смесей. Этим самым объяснение неопределенных химических соединений, аналогичное жидким растворам, получает новую опору.

Мы увидим, что существует ряд различных типов твердых растворов (§ 182 — 200), при чем между строением определенных химических соединений и подвижными системами жидких соединений есть переходы. Один из таких переходов представляют изоморфные смеси, играющие такую большую роль в современной минералогии.

Но даже если есть между ними переходы — совершенно ясно, что в неопределенных химических соединениях существуют такие проявления свойств атомов, которые отсутствуют или загашены в определенных соединениях, в устойчивых системах атомов.

**176.** Соотношение между определенными и неопределенными соединениями начинает выясняться в последнее время в связи с *учением о химических равновесиях*. Эти соотношения, давно замеченные уже основателями этих теоретических положений, были в последние годы объединены акад. Н. С. Курнаковым в результате его важных многолетних работ над строением металлических соединений.

Н. С. Курнаков подчеркнул основной характер химических соединений, а именно, что они занимают места особых, определенных точек в поверхностях равновесия тех химических реакций, в результате которых они получаются. Их весовое преобладание среди участвующих в реакции веществ становится видным только по окончании процесса. В действительности они составляют частный случай единого процесса образования химических соединений, определенных и неопределенных.

Значение химической механики здесь ярко сказывается в химической формуле атомных систем, образованных химическими силами сродства.

Законы равновесий — тех обобщений Гиббса, о которых была уже речь (§ 11, 21) — и в этой области молекулярных систем имеют огромное значение в минералогии. Работы голландских ученых, как Вант-Гоффа (J. Van't Hoff. 1852—911) или Бакхуйе-Роозебума, французов — Г. Лешателье или Дюгема (P. Duhem 1861—1916) и множества физико-химиков накопили огромный материал, имеющий огромное значение для понимания состава и химических свойств минералов. Если с теоретической точки зрения эти представления примыкают к математической дедукции Гиббса, их эмпирическим исходным пунктом явилось учение о диссоциации, выросшее из опытных работ Г. Ст. Клер Девиля (H. Sainte Claire Deville 1818—1861) и еще раньше Эле (G. Aimé. 1813—1846).

Вант-Гофф применил в ряде случаев эти достижения к объяснению природных явлений и этим дал основу теоретического объяснения парагенезиса.

В сложных природных реакциях нет возможности осветить теорией целиком весь процесс. Математические трудности становятся чрезвычайными для систем более трех компонентов, а в природных реакциях их число иногда исчисляется десятками. Однако, совершенно ясно, что эти усложнения не вносят ничего существенно нового в объяснение явления, которое целиком подчиняется законам равновесий, хотя мы и не можем подвергнуть его точным вычислениям. Мы имеем здесь логическую аналогию теории тяготения, несомненно отвечающей движению системы небесных светил, хотя уже задача притяжения трех тел представляет огромные трудности, а решение вопроса о притяжении между

большим количеством тел почти выходит за пределы современного анализа.

Основываясь на подчинении природных химических реакций и химического состава их продуктов—минералов—законам равновесий, можно утверждать, что минералы не являются случайными продуктами, а что каждый из них связан с другими, являясь определенным продуктом химического равновесия. Выражая эти равновесия, как это делал Вант-Гофф, поверхностями—каждый минерал занимает на этой поверхности определенную точку. Самый «редкий» минерал с этой точки зрения дает нам указание на химические процессы земной коры, связан с единым целым—с тем равновесием, какое представляет вся земная кора (§ 21). Без его познания невозможен точный охват ее химией.

Совершенно также для полного познания солнечной системы необходимо точное определение движения и свойств всех ее тел, каждого самого маленького астероида.

**177.** Определенные и неопределенные химические соединения далеко не охватывают всех минералов.

Уже давно—с XVIII века—минералогии эмпирики выделили ряд природных тел, которые не вошли при выяснении их характера в эти группы тел.

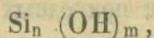
А между тем, совершенно ясно, что эти тела являются закономерными продуктами химических процессов.

Развитие физической химии и в этой области утвердило правильность эмпирической работы минералогов, пока в одной ее части.

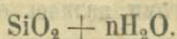
Уже в самом начале XIX столетия И. Н. Фукс (J. Fuchs 1774—1836) выделил среди минералов *аморфные тела*, и эти наблюдения были позже, в 1840-х годах, распространены Брейтгауптом на все минеральное царство. Ими и другими минералогами в частных случаях были установлены те *коллоидальные системы*, которые получили такое огромное значение в современной науке. Они вошли в нее только после работ Т. Грэма (T. Graham 1805—1869). Больше двадцати лет раньше него, итальянский химик Ф. Сельми (F. Selmi 1817—1881) сделал те же обобщения, но его многочисленные работы и идеи прошли незамеченными. Коллоидальные системы разного рода играют огромную роль в минералогии. Они подчиняются законам равновесия. Силы, которые в них проявляются, зависят от химического состава, но не являются силами химического сродства.

Это—тончайшие смеси мельчайших кристаллических частиц—мицелл (как это показал русский ученый П. фон Веймарн) и жидкостей. В мелких кристаллических мицеллах выступают на первое место не векторные свойства пространственных решеток кристалла, а его поверхностные силы.

С химической точки зрения коллоид кремнезема и воды (опалы), считавшийся прежде гидратом кремнезема, которому придавали формулу



не существует и формула его должна быть написана, как



Тесная связь между коллоидными мицеллами  $\text{SiO}_2$  (в данном случае, главным образом, а может быть исключительно, кварца) и водой, дающая нам впечатление однородного твердого тела или слизистого или студнеобразного полужидкого, обусловливается не химическими свойствами. В коллоидах кремнезема нет гидроксильных групп  $—(\text{HO})—$  характеризующих гидраты. В этом можно убедиться изучением их физических, напр., магнитных по Паскалю (1922), свойств.

Коллоидальные системы не только дают впечатление однородных химически и физически тел—как, напр., хрустальное стекло или белок—их химический состав нередко приближается с значительной точностью к составу определенных химических соединений. Между составляющими коллоиды определенными химическими соединениями получаются весовые отношения, выражаемые простыми числами. Это очень долго затемняло вопрос, так как простые соотношения считались характерным проявлением закона Дальтона—проявлением сродства атомов.

Но и в данном случае, как мы имеем это и для определенных соединений, можно видеть в этих проявлениях выражение подчинения этих явлений законам равновесия. В равновесиях коллоидальных тел коллоиды с простыми отношениями между компонентами смеси будут отвечать особым точкам тех поверхностей, которые выражают законности данного равновесия. Они устанавливаются к концу процесса, являются наиболее устойчивыми и неподвижными формами данных систем.

Так как коллоидальные системы равновесий изменяются очень медленно, скорость реакции в них очень мала, то мы легко наблюдаем и в природе, и в лаборатории промежуточные стадии, отвечающие неопределенным химическим соединениям, растворам. Эти коллоидальные растворы, сейчас привлекающие огромное внимание, называются иногда *золями* или ложными растворами, а студнеобразные, твердые или полужидкие массы, в которые они всегда с течением времени, теряя постепенно воду (или другую входящую в коллоидальную систему медленно испаряющуюся жидкость), превращаются, давая, т. наз., сгустки, называются *гелями*. Процесс образования таких сгустков (процесс свертывания коллоидов) наблюдается в природе на каждом шагу, так как всякая природная вода является всегда не только водным раствором, но и золем. Мы указывали

уже назначение этого свертывания в образовании конкреций (§ 133). Гели постепенно, теряя жидкость, переходят в кристаллические образования— в обычные смеси определенных или неопределенных химических соединений.

Коллоидальные системы сейчас энергично изучаются, так как они имеют огромное значение в строении живых существ. Существует огромная литература, которую минералог не может оставить без внимания.

**178.** Коллоидальные системы, однако, далеко не захватывают всех аналогичных групп минералов. В них мы всегда имеем дело с присутствием жидкости и кристаллического тела, тесно между собой связанных в результате химического процесса. Но минералоги давно уже выделили на ряду с ними целый ряд тончайших закономерных смесей, в которых все составляющие их вещества *твердые*.

Явления, им отвечающие, должны быть выделены от коллоидальных систем.

В коллоидах мы имеем проявление капиллярных сил сцепления жидкости (главным образом, вода) и поверхностных сил кристаллов.

В тончайших смесях твердых частиц проявляются исключительно свойства разнородных поверхностных сил кристаллических веществ. Силы эти всегда неодинаковы по разным направлениям и этим отличаются от явлений сцепления, изучаемых в коллоидах.

Эта область закономерных кристаллических смесей, *область кристаллических сростаний (или структур)* совершенно почти не охвачена опытом физики и физической химии и почти исключительно основывается на данных минералогии и кристаллографии.

Между тем в результате этих сростаний получаются очень своеобразные тела, которые нередко, как и неоднородные химические соединения или коллоидальные системы, приближаются по составу к стехиометрическим отношениям. Это указывает на то, что их образование связано с явлениями равновесий.

К такого рода телам принадлежит, например, очень распространенный минерал, образующийся при определенных условиях—*криптопертит*, являющийся закономерной смесью двух разных тел— $K_2Al_2Si_6O_{16}$  и  $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ —неделимые которых расположены друг по отношению к другу правильным образом, так что элементы их симметрии подчинены определенным математическим законам. Эти неделимые могут быть чрезвычайно мелки, выйти за пределы микроскопического зрения (т.-е. соизмеримы с длинами световых волн) и все время геометрически правильно ориентированы под влиянием свойственных этим телам векториальных сил. Иногда мы не можем их отличить от неопределенных химических

соединений, твердых растворов — изоморфных смесей —  $(\text{Na}, \text{K})_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$  (§ 188).

Огромная область этого рода продуктов химических реакций не может быть оставлена без внимания в минералогии.

**179.** Несомненно и этого рода тела не охватят всех наблюдаемых закономерных случаев сростаний минералов.

Я выделю всю эту группу продуктов реакций, как группу *физических смесей*. Среди них можно сейчас выделить *коллоидальные системы* и *кристаллические сростания*. В каждой из них можно различить несколько разных случаев.

За их пределами начинается область, совершенно почти не захваченная точным научным изучением. Однако, ясно, что существует по крайней мере еще одна область явлений, сюда относящихся, в которой мы имеем дело с более или менее тонкими закономерными механическими смесями. Таковы смеси, связанные с процессами *кристаллизации*, с тем, что кристалл при росте захватывает посторонние тела, образующие в нем в конце концов включения. Они должны быть выделены в особую группу продуктов химических процессов. Таковы же те явления *поглощения* и *прилипания*, которые дают неоднородные структуры, которые тоже связаны с процессами равновесий, отвечающих образованию минералов.

Многочисленные случаи этого рода имеют иногда большое значение и должны приниматься во внимание.

Среди них обратили внимание, т. наз., *абсорбционные системы*, иногда представляющие коллоидальные системы, поглотившие посторонние тела.

Но аналогичные явления наблюдаются и среди кристаллических тел.

**180.** Как всегда в природных процессах не всегда можно провести резкую границу между всеми этими типами продуктов. Могут быть спорные случаи, когда мы останавливаемся в нерешительности — надо ли отнести данные образования к одному минералу сложной структуры или к сростанию нескольких минералов. Но, взявши все явления в целом, границы между разными физическими и химическими природными системами (которые мы будем называть минералами) можно провести резко и определенно.

Главная масса минералов — тела твердые. Среди них, главным образом, мы можем различать указанные типы физических и химических систем, которые иногда различаются при изучении химических явлений и в химии.

Для твердых минералов мы имеем, в конце концов, следующие главные типы этих систем:

*I. Химические соединения.*

1. Определенные химические соединения.
2. Неопределенные химические соединения.
  - \*1. Изоморфные смеси.
  2. Твердые растворы.
  - \*3. Диссоциационные системы.

*II. Физические смеси.*

- \*1. Коллоидальные системы — гели и золи.
- \*2. Кристаллические сростания (структуры).

*III. Тонкие механические смеси.*

- \*1. Пойкилитические структуры (включения).
2. Абсорбционные системы.

На некоторых из этих продуктов равновесий надо здесь остановиться, т. к. обычно на их свойствах недостаточно останавливаются при изложении химии.

Я остановлюсь возможно кратко на некоторых из них (обозначенных звездочкой), считая, что обычная химическая подготовка достаточна для понимания других случаев.

**181.** Для понимания химических свойств минералов и связанных с ними химических процессов необходимо ознакомление с достижениями химии, с хорошими курсами физической или теоретической химии, как, напр., книгами Нернста (T. Nernst. Theoretische Chemie. 3<sup>te</sup> Aufl. В. 1921). Освальда (W. Ostwald. Allgemeine Chemie нов. изд. L. 1921.), Льюиса (A. Lewis. A System of physical chemistry. 1 — 3. L. 1921). Быстрое движение вперед в этой области знания требует для ориентировки обращения к новейшим изданиям.

Из приложений физической химии к проблемам минералогии, из более новых: J. Elsdon. Principles of chemical geology. L. 1910. Н. Воеке. Grundlagen d. physikalisch-chemischen Petrographie. 2 изд. v. Eitel. В. 1923.

В старинных работах Бишофа заключается множество ценнейших данных, еще неиспользованных вполне современной наукой: G. Bischof. Lehrbuch d. physikal. u. chem. Geologie. 2 Auf. 1 — 3. Bonn 1863 — 1865 (интересно и первое издание 1847 г.).

О химическом составе минералов С. Rammelsberg. Handbuch d. Mineralchemie. 2 изд. L. 1875 — 1896 (с добавлениями). Главная сводка (не оконченная) — Handbuch d. Mineralchemie, her. v. C. Doelter. 1 — 3. Dr. 1911 — 1923 (коллективный труд).

Общие данные о химической кристаллографии и структуре кристаллов см. большие новые курсы кристаллографии, как A. Tutton. *Crystallography*. 1 — 2. L. 1922.

К § 170. О симметрии: исторический очерк В. Вернадский. Основы кристаллографии. I. М. 1903. Общий очень интересный очерк F. Jaeger. *Lectures on the principle of symmetry*. 2 ed. Amst. 1921.

L. Pasteur. *Oeuvres*. I. P. 1922. P. Curie. *Oeuvres*. P. 1908.

Е. Федоровъ. Учебникъ кристаллографіи. Изд. 3. П. 1901.

К § 171. Общие данные и обзоры — A. Tutton l. c. 1922. W. a. W. Bragg. *X-rays and crystal structure*. 4 ed. L. 1924 (русский перевод старого издания). F. Rinne. *Berichte üb. Verhandlungen d. Sächs. Akademie d. Wiss.* 71. L. 1919. *Das feinbauliche Wesen d. Materie* В. 1922. C. Maugain. *La structure des cristaux déterminée au moyen des rayons X*. P. 1924 (сводка и литер.).

Об открытии фон Лауэ и о роли в ней П. фон Грота см. *Zehn Jahre Laue Diagramm*. В. 1922. («Die Naturwissenschaften»). Есть неполный русский перевод).

О кристаллохимическом анализе: Е. Федоровъ, Кристаллохимический анализъ. П. 1914. E. Fedorov. *Das Krystallreich*. Spb. 1921.

A. Werner. *Die neuere Anschauungen d. anorganischen Chemie*. 3. Aufl. Br. 1913.

N. Bohr. *Les spectres et la structure de l'atome*, Tr. par A. Corvisy. P. 1923. *Die ersten 10 Jahre d. Theorie von N. Bohr*. («Die Naturwissenschaften»). В. 1923.

Работа в области строения атомов идет так быстро, что всякий обзор быстро стареет. Состояние вопроса до Декабря 1921 с прекрасно подобранной литературой см. A. Lerppe. *La discontinuité et l'unité de la matière*. P. 1922. Ср. A. Sommerfeld. *Atombau und Spectrallinien*. 3 Aufl. L. 1922.

Работы Д. Томсона: J. Thomson. *Philos. Magazine*. I. L. 1904. 27. L. 1914. 41. L. 1921. *The corpuscular theory of matter*. L. 1907.

C. Berthollet. *Essai de statique chimique*: 1 — 2. P. 1803.

J. Van't Hoff. *Ueber feste Lösungen*. «*Zeitschr. f. Physik. Chemie*». 3. L. 1890.

Н. Курнаковъ. Извѣстия Акад. Наукъ. П. 1914.

А. Ферсманъ. Сборникъ им. В. Вернадскаго. М. 1913. (*Bull. Soc. Natur.*).

W. Gibbs. *The scientific papers*. 1 — 2. 1906.

I. Van't Hoff. *Vorlesungen üb. theoret. u. physikal. Chemie*. 2 Aufl. 1 — 3. Br. 1901 — 1903. Восемь лекцій физической химии. Пер. Е. Браудо. Под ред. П. Вальдена. Рига. 1903. *Zur Bildung ocean.*

Salzablagerungen. 1 — 2. В. 1905 — 1909. Untersuchungen üb. d. Bildung d. oceanischen Salzablagerungen (совместно с учениками) 1 — 52. «Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.». В. 1897 — 1908.

H. Bakhuis Roozeboom. Die heterog. Gleichgewichte. 1 — 4. L. 1901 — 1908.

H. St. Claire Deville. Leçons sur la dissociation «Leçons de chimie de la Soc. Chim. de Paris». P. 1866.

P. Duhem. G. Aimé. La tension de dissociation avant H. Sainte Claire Deville. P. 1899.

P. Duhem. Thermodynamique et chimie. 2 ed. P. 1910.

H. Le Chatelier. Leçons sur le carbone. P. 1908.

J. N. Fuchs. Gesammelte Schriften. Mün. 1856.

J. Breithaupt. Vollständiges Handbuch d. Miner. 1 — 3. L. 1836 — 1847.

T. Graham. Chemical and physical researches. Ed. 1876.

Библиографию работ F. Selmi см. I. Guareschi. Memorie d. Acad. d. Torino. 1911.

П. Ф. Веймарнъ. Контрактивные и экспансивные энергии объема и поверхности. П. 1915.

P. von Weimarn. Zur Lehre v. d. Zuständen d. Materie. 1 — 2. Dr. 1917.

Из новых сводок о коллоидах (кроме общих курсов физической химии) см. W. Ostwald. Kolloidchemie. Нов. изд. 1921.

H. Freundlich. Kapillarchemie. 3 — te Aufe. L. 1923.

Van Bemmelen. Die Absorbtion. Dr. 1910.

## 2. Изоморфные смеси.

**182.** Изоморфные смеси являются наиболее изученной группой твердых неопределенных химических соединений.

Почти вся история минералогии с конца XVIII столетия тесно связана с историей изоморфизма и, главным образом, изоморфных смесей. Широкая научная постановка химических проблем в минералогии стала возможна в ней только тогда, когда окончательно выяснилось понятие об изоморфной смеси — на что потребовалось почти целое столетие.

Первые зачатки учения об изоморфизме находим в конце XVIII столетия. К. Л. Бертолле уже считал изменчивость состава в известных пределах общим свойством химических соединений. В числе тел им изученных, на примере которых он доказывал это положение, были и изоморфные смеси. И некоторые другие французские ученые конца XVIII века изучали изоморфные смеси, не обобщая описываемые ими правильности — Моннэ (A. Monnet 1734 — 1817), Де Ромэ Делиль,

Н. Леблан (N. Leblanc ум. 1806). Леблан проделал многочисленные замечательные опыты с солями, доказывавшие существование изоморфных смесей, значение которых не было понято его современниками.

Все эти научные работы потеряли интерес в глазах химиков и минералогов после того, как в начале XIX века победили идеи Дальтона. Казалось, что химически чистые тела, в частности кристаллы, должны отвечать определенному составу, состоять из кратного числа атомов. Все отклонения приписывались механическим подмесам, недостаточной очистке изучаемого соединения.

Та же работа мысли шла в минералогии. С конца XVIII столетия все усилия минералогов были направлены на изучение химического состава минералов и их физической формы. Быстро создавался минеральный химический анализ, и производилась огромная работа химического разложения минералов. Значительная часть этой работы была сделана двумя учеными: немцем Клапротом (M. Klaproth 1743 — 1817) и французом Вокеленом (N. Vauquelin 1763 — 1831). Гаюи, приняв идеи Дальтона и теории новой химии, поставил задачей минералогии найти связь между химическим составом — химической атомной формулой — и кристаллической формой минерала, которую он впервые охватил числовым анализом. Закон параметров Гаюи казался другим выражением закона простых весовых отношений Дальтона.

Из рамок этой задачи в течение поколений не выходила мысль исследователей. В результате этих усилий произошло блестящее развитие кристаллографии, выделившейся в конце концов в новую науку, добыты многочисленные константы кристаллов многих минералов — но в то же время выяснилось, что поставленная задача не отвечала действительности. Под влиянием этих исканий на десятки лет были отодвинуты основные вопросы минералогии, как части химии земной коры.

**183.** Гаюи в 1784 году в своей «Tableau comparatif des minéraux» выдвинул два положения: 1) каждый минерал представляет определенное химическое соединение, 2) он имеет — в связи с этим, только одну ему свойственную кристаллическую форму.

Уже в ближайшее же время были найдены многочисленные исключения из этих правил Гаюи. Работы Бертолле, Леблана — позже Бедана (F. Beudant 1787 — 1852) во Франции, Фукса и Бернгарди (J. Bernhardt 1774 — 1850) в немецких государствах неопровержимо доказали существование природных или искусственных кристаллов, состав которых не мог быть выражен в стехиометрических формулах, а иногда даже давал для разных кристаллов одного и того же минерала ясно иной процентный состав. В то же время и обратно для одного и того же химического соединения найдены были разные по кристаллической

форме и физическим свойствам минералы — как мы теперь говорим полиморфные разности.

Гаюи и его последователи долгое время объясняли эти отклонения недостатками методов химического анализа и неоднородностью взятого для исследования матерьяла.

Уже в первой четверти XIX столетия становилось ясным, что отклонения реальны и не могут быть объяснены этим путем. Усовершенствование методов химического анализа Берцелиусом и другими, определения однородности работами Брейтгаупта, Моса, новыми методами оптики в руках Брюстера (D. Brewster 1781 — 1868), Араго (F. Arago 1786 — 1853) и других безусловно установили отклонения от положений Гаюи, необъяснимые недостатками или ошибочностью методов работы.

Исходя из этих идей уже в первые годы XIX столетия, Баварский ученый Фуке вернулся к идеям Бертолле и предположил, что не все элементы одинаково влияют на физические свойства и на формулу данного минерала — часть их или некоторые их группы могут меняться без изменения кристаллической формы и основной формулы минерала (викарирующие части).

К аналогичным идеям, исходя из изучения искусственных кристаллов, пришел Бедан. Он считал, что кристаллам свойственна кристаллообразующая сила, благодаря которой они при росте захватывают посторонние тела и заставляют их выкристаллизовываться в чуждой им кристаллической форме и распределяться в массе кристалла вполне однородно. Он счел их особыми, отличными от механических, *химическими смесями* — химическими неопределенными соединениями. Бедан в своих опытах несомненно доказал существование однородных кристаллов резко колеблющегося состава. Его идеи близки, с одной стороны, к идеям Бертолле, с другой, к современным, которые в растворах и изоморфных («химических» по Бедану) смесях установили соединения, которые Бертолле считал основными в химии.

Работы Бедана не были поняты. Выдвинулось новое представление, не противоречащее господствующим взглядам, оказавшееся очень плодотворным в решении многочисленных проблем, но по существу надолго остановившее правильное решение.

**184.** Оно было введено в 1823 году молодым учеником Берцелиуса, в его лаборатории, Э. Митчерлихом (E. Mitscherlich 1794 — 1863) в учении об изоморфизме.

Митчерлих объяснил образование однородных кристаллов с колеблющимся химическим составом особыми свойствами определенных химических соединений некоторых элементов.

Он нашел, что для некоторых химических элементов соединения аналогичной химической формулы обладают идентичной, как он думал в начале, или очень близкой геометрической формой. Эти соединения способны выкристаллизовываться в разных колеблющихся количествах в одном и том же кристалле, давая однородное тело.

Такую кристаллическую смесь Митчерлих назвал *изоморфной смесью* (смесью одинаковых по форме тел). Соединения, способные давать изоморфные смеси, он назвал *изоморфными соединениями*. Химические элементы, все или (как оказалось позже) некоторые аналогичные соединения которых изоморфны, он назвал элементами, способными *изоморфно замещать друг друга*.

Часть терминов Митчерлиха сохранилась, но получила другой смысл.

Основная его идея, однако, несомненно была верна — он указал, что так или иначе эти физически однородные соединения колеблющегося химического состава являются *закономерными смесями соединений определенного химического состава*.

**185.** На двух примерах можно видеть представления об изоморфизме в эпоху Митчерлиха.

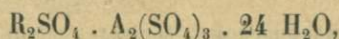
Он впервые установил понятие об изоморфизме на группе мышьяковокислых и фосфорнокислых солей калия и аммония. Эти тела кристаллизуются в квадратной системе (классе  $\lambda^2 2L^2 2P'$ ), дают чрезвычайно схожие по внешнему виду призматические кристаллы. Они способны выкристаллизовываться вместе в одном кристалле. Близость формы видна, напр., из следующих кристаллографических данных:

	a : c	
$KH_2PO_4$	1 : 0.9391	(111) : (111) = 57°58'
$KH_2AsO_4$	1 : 0.9380	» 58° 0'
$NH_4H_2PO_4$	1 : 1.0076	» 60°10'
$NH_4H_2AsO_4$	1 : 1.0035	» 60° 7'

Еще большая близость формы видна на другой группе тел — на квасцах. Этот случай изоморфизма играл видную роль в истории химии, так как он позволил точнее определить валентность и положение в периодической системе ряда химических элементов.

Квасцы кристаллизуются, главным образом, в октаэдрах, реже кубах правильной системы, повидному, в классе  $3\lambda^2c 3\pi 4L^3$ . Нам известно очень много относящихся сюда соединений, способных выкристаллизовываться вместе в одном однородном кристалле в колеблющихся количествах.

Общая их формула:



где  $R = K, Na, Li, Cs, Rb, Tl, NH_4$ , сложные аммонии и т. д.

$A = Al, Fe, Mn, Cr, In, Ga, V$  и т. д.

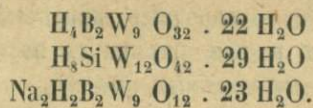
**186.** Представление об изоморфизме внесло первую принятую наукой поправку в положение Гаюи и в очень многих случаях позволило дать очень ясное и простое объяснение наблюдаемым отклонениям.

Однако, очень скоро выяснилось, что в той форме, в какой оно было выражено, оно недостаточно.

Все вносимые в него эмпирические поправки долгое время старались держаться в рамках этих представлений.

Так, Мариньяк (C. Galissard de Marignac 1817 — 1894) (1864) впервые указал, что представление о полной аналогии химического состава не отвечает явлениям, наблюдаемым для соединений большого молекулярного веса. Такие тела могут давать близкие по форме кристаллы и выкристаллизовываться вместе в одном однородном кристалле даже при большом различии химического состава. Мариньяк все же предполагал необходимым известное сходство наибольшего по массе ядра соединения. Уже раньше него отдельные исследователи шли дальше. В Москве с 1830-х годов велись многолетние работы неутомимого и замечательного исследователя русских минералов И. П. Германа (1805 — 1879), который доказывал возможность образования изоморфных смесей телами различного — не аналогичного — химического состава.

Как пример образования смешанных кристаллов телами разного состава, но большого молекулярного веса можно, напр., привести изоморфные смеси следующих сложных соединений, изученных Д. Клейном:



Постепенно по мере углубления в эти вопросы выяснилось, что способность давать изоморфные смеси и сходство кристаллической формы является гораздо более сложной функцией химического состава, чем это предполагал Митчерлих.

Не все тела аналогичной формулы даже для одних и тех же элементов дают кристаллы близких кристаллических ячеек и способны давать изоморфные смеси. И в то же время тела совершенно различной химической формулы, напр., по О. Леманну (O. Lehmann 1855 — 1922) такие,

как нашатырь —  $\text{NH}_4\text{Cl}$  — и гидрат хлорного железа  $\text{Fe}_2\text{Cl}_6\text{8H}_2\text{O}$  способны их образовывать.

«Близость» кристаллической формы, давно заменившая предпологавшуюся раньше Митчерлихом ее идентичность, — необходимая для образования изоморфных смесей оказалась очень различной в разных случаях. Отклонения в элементах, в кристаллических ячейках, в углах между гранями смешивающихся многогранников достигали градусов.

В результате этой многолетней работы произошло крушение прежних идей изоморфизма и создание *химической кристаллографии*, которая раскрыла перед нами многочисленные и разнообразные соотношения между химическим составом тела и кристаллическим строением.

Стали изучать не только связь кристаллического строения с элементарным химическим составом, но связь с ним химического строения. Особенно развитие изучения кристаллической формы органических соединений, характера кристаллических ячеек в связи с молекулярным весом или объемом соединений открыло многочисленные закономерности, далекие от старых идей изоморфизма. Сходство кристаллических ячеек оказалось не связанным с способностью давать изоморфные смеси.

Основным достижением этой работы явилось выясненное впервые П. фон-Гротом влияние распределения атомов на кристаллическую ячейку, блестяще подтвержденное изучением кристаллов в X-свете.

Но на этом основном фоне открылись и открываются все новые закономерности, указывающие на влияние атомных весов и объемов, химических радикалов, структурных химических формул.

Эти представления давно переросли старые идеи изоморфизма. Они имеют сейчас большее значение в химии, чем в минералогии, и могут быть здесь оставлены в стороне.

В минералогии приобрела основное значение только способность некоторых веществ давать однородные кристаллы из колеблющегося количества собирающихся в нем различных по составу, определенных химических соединений — *изоморфных смесей*.

Изоморфные смеси оказались широко распространенными в минеральном царстве. К ним относятся важнейшие и наиболее обычные минералы.

**187.** В 1890 году Вант-Гофф дал точное определение положения изоморфных смесей среди химических соединений. Он указал, что они представляют аналогию жидким растворам и являются определенным классом *твердых растворов*. Мы видим — в новой научной обстановке — возвращение к идеям Бедана о химических смесях, как неопределенных химических соединений. Изучая историю этого вопроса,

можно видеть, что эта мысль носилась в воздухе, и многие исследователи к этому времени к ней подходили.

Вант-Гофф указал, что все основные законности растворов подходят к изоморфным смесям.

Для изоморфных смесей является характерным, что их компоненты—*растворитель и растворенное тело — всегда принадлежат к одному и тому же кристаллическому классу.*

Они, следовательно, аналогичны таким растворам, компоненты которых находятся в одинаковом физическом состоянии, т.-е. растворам жидкостей в жидкостях, газовым смесям.

Близость кристаллической формы несомненно необходима для получения кристаллов изоморфной смеси, т. к. при образовании изоморфной смеси все векторы кристалла должны быть параллельны.

Эта близость связана не только с близостью кристаллических ячеек, но и стереоэдров и параллелоэдров Федорова.

При их резком отличии изоморфная смесь не образуется.

С другой стороны, очень возможно, что атомы и радикалы могут располагаться в изоморфных смесях в пространстве в таких параллелоэдрах (а следовательно, и в кристаллических ячейках), в которых они не могут встречаться в определенных химических соединениях.

**188.** Здесь мы наблюдаем аналогию с жидкими растворами. И в них могут находиться комплексы элементов, жидкие фазы которых в свободном состоянии не существуют.

Аналогия с растворами вообще отвечает той сложности, какая наблюдается в отношениях между химическим составом компонентов и их способностью давать изоморфные смеси. Тела аналогичного состава и в жидких растворах, и в изоморфных смесях легче дают между собой однородные массы — но это не исключает возможности их образования и для тел разного химического состава. Но в этом последнем случае мы относительно редко наблюдаем сходство кристаллической структуры и потому в огромном большинстве случаев между составом смешивающихся компонентов наблюдается ясная химическая аналогия.

Подобно жидким смесям и изоморфные смеси дают различные типы смесей. Мы увидим их примеры при изучении минералов. Иные, напр.,  $Mg_2SiO_4$  и  $Fe_2SiO_4$  (голоэдриа ромбической системы)—перидоты—смешиваются между собою во всех пропорциях (как вода и этиловый спирт) другие, как, напр.,  $FeTiO_3$  и  $Fe_2O_3$ —титанистые железняки,—дают перерывчатую смесь; здесь есть слабые растворы  $Fe_2O_3$  в  $Fe_2TiO_3$  и слабые растворы  $FeTiO_3$  в  $Fe_2O_3$ ; но полной смешимости нет, подобно, напр., ому, что мы наблюдаем для воды и серного эфира.

Изоморфные смеси получаются в результате кристаллизации—из жидких растворов, из сплавов, из газообразных смесей. Благодаря меньшей подвижности твердых частиц и сложности и различию условий кристаллизации явления смесимости здесь еще более разнообразны, чем мы это наблюдаем при смешении жидкостей.

Изоморфные смеси образуются в результате процессов равновесия, какими является и кристаллизация, и образование химического соединения, выделяющегося в форме изоморфной смеси. Поэтому очень часто устойчивыми формами смеси являются растворы, в которых весовые отношения между компонентами приближаются к простым числам. Мы наблюдаем в таких случаях даже при полной смесимости тел, напр., в триклинических полевых шпатах —  $\text{Na}_2 \text{Al}_2 \text{Si}_6 \text{O}_{16}$  и  $\text{CaAl}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$  — особенно частое нахождение минералов с отношениями между натровым и кальциевым компонентами, близкими к 1 и к 3 (см. полевые шпаты).

**189.** Физические свойства изоморфных смесей отвечают свойствам растворов. Они отличаются от них только тем, что они всегда векториальны, т. е. различны по непараллельным направлениям в связи с симметрией кристалла.

Для целого ряда свойств наблюдается, как и для жидких смесей, *аддитивность свойств*, которая указывает, что, входя в изоморфную смесь, компоненты мало меняют или совсем не меняют свои свойства. Впервые аддитивность свойств была указана Дюфэ 1878 для оптических (показателей преломления) и кристаллографических элементов  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Zn SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и т. д. Вскоре она была обобщена Малляром (1880) (E. Mallard 1833 — 1894), как общее свойство изоморфных смесей.

Эта аддитивность относится к векторам. Свойства являются средними для данного состава только тогда, когда мы сравниваем их по параллельным, одинаково расположенным в пространстве, векторам компонентов.

Если, напр., изоморфная смесь состоит из смеси компонентов— $p, p', p'' \dots$ , выраженных в весовых процентах, и какое-нибудь свойство,—напр., показатель преломления определенной длины волны при одной и той же температуре—для векторов, одинаково расположенных в ячейках компонентов, соответственно равен  $s, s', s'' \dots$ , то в кристалле изоморфной смеси для вектора, расположенного в том же направлении в его ячейке, получится для того же показателя преломления величина  $S$ , равная:

$$S = \frac{ps + p's' + p''s'' + \dots}{100}$$

Для тел близких кристаллических ячеек получается хорошее совпадение. Но уже для тел, ячейки которых отличаются более значительно—откло-

нения между вычисленными и наблюдаемыми величинами становятся заметными. Параллельные векторы в этих случаях явно неодинаковы, и однородности, существующей для кристалла определенного химического соединения, здесь не существует.

Повидимому, к тому же аддитивность существует в одинаковой степени не для всех физических свойств.

Раствор есть химическое соединение, и несомненно известные изменения свойств соединений, в него входящих, при его образовании происходят.

То же самое, очевидно, имеет место и в изоморфных смесях. Полной аддитивности всех его свойств не существует не только вследствие его неполной векториальной однородности, но и благодаря некоторому изменению свойств компонентов изоморфной смеси, благодаря проявлению свойств химического средства.

Как и для жидких растворов, этот вопрос недостаточно научно исследован.

**190.** Изоморфные смеси в отличие от жидких растворов ограничены размерами. Кристалл не может дать вполне однородной массы того размера, какой легко дают жидкости или газы; под влиянием давления верхних его частей получаются его смещения, скольжения, и он превращается в сростки кристаллов, в двойники. Однако, в природных условиях получаются однородные массы, в предельных случаях для некоторых веществ достигающие 20—30 килограммов весом.

Точно также есть предел и для мелких неделимых; он ставится поверхностным натяжением кристаллов, меняющим их форму и свойства и, в конце концов, приводящим к их изменению.

Поэтому в отличие от жидкостей эти твердые растворы являются нам в виде определенных различного рода сростков, зернистых и иных структур, очень характерных для разных минералов. Я не буду здесь останавливаться на их классификациях; мы с ними встретимся при описании различных минералов.

Когда встречаются вместе различные изоморфные смеси, между ними могут проявляться химические и физические силы, приводящие к образованию коллоидальных и физических систем, в которых в природе преобладают часто и изоморфные смеси.

**191.** В последнее время началось изучение изоморфных смесей в X-лучах. Толкование явлений, здесь наблюдаемых, в частности представляет еще большие трудности — но в общем несомненно не только подтверждается то представление, к которому мы пришли кристаллографическим путем, но выясняется возможность проникнуть этим путем глубже в их строение, чем мы это думали раньше.

Из опытов Вегарда (1918—1921) над некоторыми изоморфными смесями правильной и ромбической системы следует, что мы имеем в них дело с *атомным замещением*. Мы возвращаемся как бы к идеям Митчерлиха. В этих случаях атомы изоморфных элементов замещают друг друга в пространственной решетке смеси без всякого порядка. При этом замещении элементарная ячейка кристалла меняется, что может быть согласно с тем, что «объем атома» в известной степени может изменяться. С физической точки зрения изоморфная смесь, таким образом, является вполне однородной. Однако, явление изоморфных смесей несомненно более сложное. Изучение условий образования и свойств некоторых металлических сплавов (напр., Au—Ag), которые несомненно являются изоморфными смесями, привело Тамманна (1919) к необходимости признания существования некоторой правильности распределения атомов изоморфно смешивающихся элементов. Это вытекает и из рентгенограмм Бэна (1922) для сплавов разных металлов (Cu—Mn и т. д.). При известных отношениях получаются новые ячейки—вероятно они отвечают особым точкам поверхностей равновесия, значение которых выдвинуто Н. С. Курнаковым. Эти смеси отвечают обычно простым весовым отношениям между атомами.

Как видно из этих указаний в этой области открываются новые правильности, и в ближайшее время проблема строения изоморфных смесей будет в значительной мере разрешена.

*Несомненно уже сейчас, что это образования атомного, а не молекулярного характера, как мы это думали раньше.*

Выводы из этого положения далеко еще не сделаны, и они в значительной мере изменяют наши современные идеи о химическом составе минералов.

**192.** Наши современные переходные представления об изоморфных смесях могут быть сведены к следующим положениям:

1. Изоморфные смеси представляют твердые растворы определенного характера, которые являются физически однородными кристаллами.
2. Они получают путем кристаллизации из жидких растворов, расплавленных и парообразных масс, твердых перегруппировок.
3. Все компоненты принадлежат к одному и тому же кристаллическому классу и, повидимому, к параллелоэдрам одинакового строения.
4. Размеры параллелоэдров и их формы очень близки.
5. При образовании изоморфных смесей происходит атомное замещение; атомы или ионы разных элементов могут друг друга изоморфно замещать в точках элементарных параллелоэдров. Весьма вероятно, что в обычных случаях это замещение происходит без всякой правильности.

6. Физические свойства изоморфных смесей аддитивны или почти аддитивны для параллельных векторов по сравнению с свойствами компонентов и могут быть — с значительным приближением — исходя из них, вычислены.

7. Весовые количества компонентов часто приближаются к простым кратным отношениям, как это наблюдается во всех случаях явлений равновесия. Они отвечают определенным особенным точкам этих поверхностей. Повидимому, в этих случаях атомные замещения происходят с известной правильностью.

8. Химический состав компонентов может быть очень различен, — но способность давать изоморфные смеси обычно наиболее проявляется среди аналогичных по химической формуле соединений (см. ниже изоморфные ряды).

9. Хотя мы выражаем компоненты в форме определенных химических соединений — весьма вероятно, что многие из этих компонентов не могут существовать в свободном состоянии в кристаллическом классе и группе параллелоэдров, наблюдаемых в изоморфной смеси.

10. Размеры основных параллелоэдров изоморфных смесей изменены по сравнению с параллелоэдрами компонентов. Расстояние между атомами того же порядка —  $n \times 10^{-8}$  сантиметров.

11. Из того, что изоморфные смеси получаются путем кристаллизации, следует, что элементы разных компонентов изоморфных смесей двигаются в одних и тех же кристаллизационных токах. Кристалл изоморфной смеси может расти в среде, отвечающей кристаллизации каждого компонента, напр., в его пересыщенном растворе. Каждый кристалл каждого компонента может вызывать кристаллизацию, служить зародышем для пересыщенной среды любого компонента смеси.

**193.** Исследование изоморфных смесей является предметом изучения кристаллографии, и я мог его коснуться здесь только постольку, поскольку это являлось необходимым для целей этого введения.

Изложение современных данных см. в указанных руководствах физической химии (§ 181) или больших руководствах кристаллографии, напр., A. Tutton (§ 181).

История вопроса и старая литература превосходно изложена в книге A. Arzruni. *Physikalische Chemie d. Krystalle*. Br. 1893.

К § 182. Работы Клапрота собраны I. Klaproth. *Beiträge zur chem. Kennt. d. Mineralkörper*. 1—6. В. u. Pos. 1795—1815.

Работы Вокелена разбросаны в журналах. Библиография их в *Catalogue of scientific papers*. 6. L. 1872. 115 сл. (изд. Английского Королевского Общества).

N. Leblanc. *Journ. de phys.* 31. P. 1787. 33. P. 1788. *De la cristallo-technic*. P. 1802 (*Journ. de phys.* 35).

183. Haüy — см. § 17 Fuchs § 181. Berthollet § 181.  
F. Beudant. Annales de ch. et de ph. 8. P. 1818. 14, P. 1820.  
326. Memoires de l'Acad. d. Sciences. 8. P. 1829. Annales des mines.  
3. P. 1818.  
§ 184. Работы Митчерлиха собраны E. Mitscherlich. Gesammelte  
Schriften. В. 1896.  
§ 186. Работы Мариньяка собраны C. Galissard de Marignac:  
Oeuvres. 1—2 Gen. s. a. Герман свел свои представления в Memoires de la  
Soc. d. Nat. de Moscou. 1865.  
Огромная драгоценная сводка данных P. v. Groth. Chemische Krystallo-  
graphie. 1—5. L. 1911—1919.  
К § 189. H. Dufet. Bulletin de la Soc. Miner. 1. P. 1878. E. Mallard.  
Bulletin de la Soc. Miner. 3. P. 1880.  
§ 191. L. Vegard. Die Konstitution der Mischkrystalle u. die Raum-  
erfüllung der Atome. Kr. 1921. (Skrifter udg. Videnskabselsk. i Kristiania).  
G. Tammann. Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie. 107. L. 1919.

### 3. Изоморфные ряды элементов.

**194.** При таком состоянии вопроса об изоморфных смесях получили большое значение те эмпирические обобщения, которые были собраны вековой работой в минералогии вне всякого теоретического представления о строении изоморфных смесей.

Эти обобщения выражены в учении об изоморфных рядах химических элементов в земной коре.

Идеи об изоморфизме Митчерлиха немедленно оказали глубокое влияние на все представления о химическом составе минералов. Они легли в основу химической классификации Берцелиуса, были развиты Густ. Розе и в конце концов охватили всю минералогию.

Изоморфные смеси оказались широко распространенными в минеральном царстве; долгое время, главным образом, они служили предметом изучения минералогов. Несомненно они составляют главную массу вещества земной коры. Из них составлены почти сплошь массивные и метаморфические породы и значительная часть осадочных.

В области минералов оказалось чрезвычайно удобным расположить химические элементы в ряды по их способности *изоморфно замещать друг друга* (§ 184) в их аналогичных по формуле соединениях. Новые работы над рентгенограммами изоморфных смесей дают новую основу этим обобщениям. Очевидно, дальнейший анализ изоморфных рядов приведет к нахождению важных соотношений между элементами, связанных с строением их атомов.

Однако, до сих пор из эмпирических данных не могли быть найдены правильности в огромной области синтетических химических соединений.

Такие ряды могли быть практически установлены только для природных соединений, минералов, количество разных типов которых очень невелико по сравнению с количеством типов искусственных соединений.

**195.** *Изоморфным рядом химических элементов в земной коре* мы будем называть ряды химических элементов, которые в природе дают изоморфные смеси аналогичных по химической формуле соединений.

Можно убедиться, что в сложных условиях земных реакций, в среде, где всегда присутствуют самые разнообразныя тела, редко когда образуются химически чистые вещества. При кристаллизации в кристалле собираются — всегда в виде изоморфной смеси — все те соединения, которые могут захватываться кристаллизационными токами.

Обычно в виде больших или меньших примесей находятся в какомнибудь минерале многие из возможных химических соединений элементов того же изоморфного ряда, аналогичные по формуле господствующему телу.

Огромное большинство минералов представляет изоморфную смесь, в которой в более или менее слабом разведении растворены аналогичные растворителю соединения других элементов данного изоморфного ряда.

При анализе мы должны всегда искать их и очень часто мы их находим.

Так, напр., для растворителя ортосиликата  $Mg_2SiO_4$  — минерала группы перидота — можно ждать изоморфной примеси таких же соединений изоморфного ряда магния:  $Fe_2SiO_4$ ,  $Mg_2SiO_4$ ,  $Ni_2SiO_4$ ,  $Zn_2SiO_4$ ,  $Ca_2SiO_4$ ... И действительно всегда мы находим те или иные из этих возможных компонентов.

Только этим путем удалось разобраться в химической формуле сложных природных тел, где иногда находится одновременно в одном кристалле более 20 химических элементов.

Один и тот же минерал разных условий образования или разного месторождения отличается по количеству или по характеру этих растворенных в нем примесей.

Понятно, какое огромное значение для выяснения их состава имеет эмпирическая таблица изоморфных рядов химических элементов; без нее сейчас немыслима научная работа.

В таблице, которая приведена в § 197, сделано разделение, которое иногда упускается из виду. Можно убедиться, что изоморфные ряды меняются в зависимости от земных термодинамических оболочек и что в зависимости от этого далеко не все изоморфные ряды, возможные для какогонибудь элемента, имеют свое отражение в природе.

Так, напр., бериллий в своих солях, выкристаллизовывающихся в наших лабораториях из водных растворов, дает изоморфные смеси с аналогичными

солями магния. В природе нам известны только ювенильные и фреатические находения бериллия, и он обычно не принадлежит в этих условиях к ряду магния. Фосфор принадлежит к изоморфному ряду ванадия и мышьяка в вадозных минералах, но не в ювенильных.

**196.** Как во всяком эмпирическом обобщении — особенно в столь сложной области, как состав продуктов бесчисленных, идущих при разнообразных условиях, химических реакций, — мы наблюдаем здесь много явлений, объяснить которые мы не умеем. Однако, их значение от этого не уменьшается.

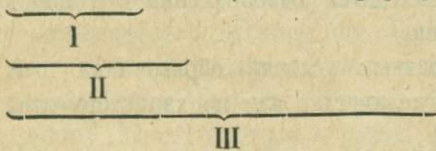
Так нельзя не отметить, что есть элементы, соединения которых стоят особняком, не дают в земной коре изоморфных смесей с аналогичными телами — эти элементы не входят в таблицу § 197.

Таковы — кроме элементов, не дающих соединений (благородные газы) — *углерод, азот, м. б. бериллий*. Для азота и бериллия известны изоморфные смеси, полученные в лабораториях. Углерод входит в изоморфные смеси, но сам изоморфно не замещается — в природных соединениях — никаким другим элементом или радикалом. И в искусственных телах — органических изоморфных смесях — известны замещения его радикалов, но не самого элемента.

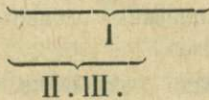
**197.** В таблице земных изоморфных рядов <sup>1)</sup> римскими цифрами обозначены термодинамические оболочки:

- I. Кора выветривания — Вадозные минералы (§ 78, 164).
- II. Метаморфическая оболочка — Фреатические минералы.
- III. Магматическая оболочка — Ювенильные минералы.

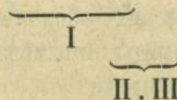
1. Al . Fe . Cr . Mn | Ti . V . [Y] . [Ce] . V . In?



2. Ba . Ca . Sr . Pb



3. Br . J . Cl . F



<sup>1)</sup> Они же в меньшем числе членов известны для метеоритов.

4.  $\underbrace{V . P . As \quad Sb?}_{I}$
5.  $\underbrace{Bi . Sb . As}_{II . III?}$
6.  $\underbrace{K . Na . Cs . Rb .}_{I} \quad | \quad Tl . Li . H .$   
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{II . III}$
7.  $\underbrace{W . Mo}_{I}$
8.  $\underbrace{Ge . Sn}_{II}$
9.  $\underbrace{Mg . Mn . Fe . Zn . Cd . Cu . Ni . Co . In?}_{I}$   
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{II . III}$
10.  $\underbrace{Au . Ag . Hg . Cu . Pb . Tl}_{I?}$   
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{II . III}$
11.  $\underbrace{Pt . Fe . Pd . Ir . Rh . Cu}_{III .}$
12.  $\underbrace{Os . Ru . Rh . Ir .}_{III}$
13.  $\underbrace{Ca . Mg . Mn . Fe}_{I?}$   
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{II . III}$
14.  $\underbrace{O . F}_{III?}$
15.  $\underbrace{Co . Fe . Ni}_{I}$   
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{II}$
16.  $\underbrace{Si . Ti . Zr . Mn}_{II . III}$

17.  $\underbrace{\text{Th} . \text{U}}_{\text{III}}$   
 18.  $\underbrace{\text{Zr} . \text{Hf} (\text{Ct})}_{\text{III}}$   
 19.  $\underbrace{\text{Nb} . \text{Ta}}_{\text{III}}$   
 20.  $\underbrace{\text{S} . \text{Se} . \text{Te}}_{\text{II} . \text{III} ?}$

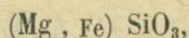
**198.** При анализе неизменно и всегда пользуются этими изоморфными рядами. Найдя один элемент, ищут его спутников и очень часто их находят.

Благодаря такому распределению элементов в минералах, можно упростить их формулы.

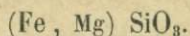
В соединениях аналогичной формулы можно рассматривать элементы изоморфных рядов замещающими друг друга и писать формулы таких смесей, как формулы определенных химических соединений.

Обычно элементы изоморфных рядов берут за скобки, разделяя их запятыми, при чем иногда отличают растворитель от элементов растворенных соединений разной величиной буквенных обозначений.

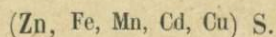
Так, напр., энстатит — изоморфная смесь метасиликатов магния и железа, в которой преобладает метакремнекислый магний, отвечает формуле:



а гиперстен — аналогичная смесь, где преобладает метакремнекислородное железо, отвечает формуле:

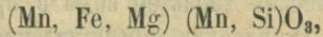


Состав обыкновенной цинковой обманки будет выражаться формулой:

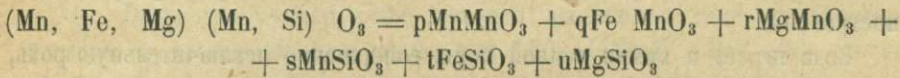


Для целого ряда вопросов можно ограничиваться составом растворителя изоморфной смеси; зная изоморфные ряды элементов — можно всегда предвидеть те соединения, которые могут встретиться в растворенном состоянии в минерале. Цинковые обманки разных местностей имеют один и тот же растворитель —  $\text{ZnS}$  — и разные качественно и количественно растворенные тела —  $\text{FeS}$ ,  $\text{MnS}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{CuS}$ ; некоторые из них могут и отсутствовать.

Растворителем *браунита* — является  $\overset{\text{II}}{\text{Mn}} \overset{\text{IV}}{\text{MnO}_3}$ ; обращаясь к изоморфным рядам, мы видим, что  $\overset{\text{II}}{\text{Mn}}$  изоморфны (9 ряд) Mg, Fe, Zn, Cd и т. д., а  $\overset{\text{IV}}{\text{Mn}}$  (16 ряд) Si, Ti и т. д. В действительности в брауните встречаются некоторые из возможных компонентов, и его формула выражается:



т.-е.



коэффициент  $p$  — преобладает, а  $q, r, s, t, u$  обычно имеют очень малые величины.

Толкование данных анализа, которое идет этим путем, иногда является трудным и сложным — но в огромном большинстве случаев изоморфные ряды элементов позволяют нам разобраться безошибочно в составе минерала

**199.** Об изоморфных рядах элементов см. K. Arzruni. Die physikal. Chemie d. Kryst. Br. 1893.

Связь их с термодинамическими оболочками указана мною в 1890 году. Работа перепечатана: В. Вернадский. Очерки и речи. I. П. 1922, стр. 69.

К § 194. I. Berzelius. Neues chemisch. Mineralsystem, her. v. C. Rammelsberg. Nürnberg. 1847. (Первая работа в 1814.)

G. Rose. Das krystallochem. Mineralsystem. В. 1852.

#### 4. Диссоциационные системы.

**200.** Я выделил в особую группу твердые растворы, состав которых находится в зависимости от окружающей их среды.

Это твердые растворы, содержащие в растворе газы или воду, количество которых находится в зависимости от парциального давления их в атмосфере, от влажности той почвы, грязи или породы, в которых они образуются или находятся.

Не исключена возможность, что и другие вещества могут заключаться в том же самом состоянии слабой связи, замещать газы или воду. Но эта область явлений не изучена и может быть оставлена пока без рассмотрения, хотя очень несомненно играет большую роль в соединениях биосферы (см. цеолиты).

Едва ли можно сомневаться, что мы имеем здесь дело с явлениями химического характера, в которых связь между некоторыми частями

соединения очень ослаблена. Эти тела дают ясную картину разложения, тождественную, повидимому, явлениям диссоциации.

**201.** Наибольшее значение и наибольший интерес имеют диссоциационные системы, связанные с изменением в них содержания воды.

В большей или меньшей степени все вадозные минералы содержат легко выделяемую и легко поглощаемую воду.

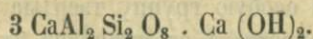
К сожалению, химический характер воды в природных соединениях, да и вообще в наших химических представлениях — не ясен. Многое здесь принимается условно и несомненно имеет характер временных построений.

Вода играет в химии земной коры совершенно исключительную роль, несравнимую ни с каким другим соединением, и она различным образом проникает почти все минеральные тела верхних — и отчасти даже глубоких — термодинамических оболочек земной коры. И она дает с ними разнообразные различной устойчивости типы химических соединений.

Не имея возможности выяснить сейчас характер связи между водой и заключающими ее или выделяющими ее при разложении соединениями, давно вошло в употребление разделение воды на группы на основании той температуры, при которой она выделяется, или характера того остатка, который остается по ее выделении.

Таким путем различают воду:

1. *Конституционную*, выделяющуюся при высокой температуре, обычно не ниже темно-красного каления, при чем при ее выделении остающийся остаток не является определенным химическим соединением, связанным с исходным, а представляет смесь продуктов разложения. Предполагают, что такая вода всегда находится в соединении в форме гидроксильных групп (HO). Как пример, можно взять воду цонзита, выделяющуюся при температуре выше  $1000^{\circ}$  и отвечающую соединению



Остаток по ее выделении представляет смесь тел, резко отличных от исходного цонзита.

2. *Гидратную воду*, выделяющуюся обычно при более низкой температуре, не превышающей несколько сот градусов, при чем химическая связь между элементами остатка не прервана. Здесь вода находится в виде гидроксильных групп, напр., вода гетита  $\text{Fe}_2\text{O}_2 (\text{OH})_2$ , после выделения которой остается свободная окись железа —  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

3. *Кристаллизационную воду*, выделяющуюся обычно еще более легко, чем гидратная. Предполагают, что вода находится в этих кристаллических телах, как таковая, напр., в халькантите —  $\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . При ее выделении, иногда при очень низкой температуре, соединение

сохраняет неизменным свой химический характер. Очень часто соединения этого рода получаются при кристаллизации солей из водных растворов — откуда и получилось ее название. Мы знаем теперь, что в очень многих случаях предположения о кристаллизационной воде, как воде, входящей в соединение, как таковая (дающей молекулярное соединение), не верны — как, напр., и в случае халькантита. Мы не имеем возможности точно различать кристаллизационную и гидратную воду, кроме отдельных изученных случаев.

Наконец, отмечают издавна еще:

4. *Гигроскопическую воду*, которая выделяется при температуре, близкой к точке кипения воды, при  $100-110^{\circ}$  С. Эту воду считали связанной не химически, а физически, так как ее присутствие или отсутствие не меняет резко химических свойств соединения. По мере углубления в изучение химического состава минералов становится ясным, что значительная часть этой воды химически связана с заключающими ее телами, и большая ее часть несомненно принадлежит к диссоциационным системам.

**202.** Несомненно эти случаи не охватывают всех форм нахождения воды в минералах. Мы встречаем ее в твердом растворе, не находящемся в связи с окружающей средой (см. группу авгитов и роговых обманок), находим ее в диссоциационных системах.

Эта последняя вода была открыта в 1858 году Дамуром в особой группе алюмосиликатов — цеолитов — и получила название *цеолитной*. Дамур указал, что эта вода находится в теснейшей связи с окружающей средой — она поглощается и выделяется более или менее непрерывно или при обыкновенной температуре, или при более высокой. Свойства этой воды обратили на себя внимание после работ Малляра (1882), который доказал, что ее выделение из кристалла цеолита не вполне меняет его физические свойства — теряя при нагревании несколько процентов воды по весу, вещество сохраняет неизменными свою форму, однородность строения, остается прозрачным, показатели преломления слабо меняются. Оно может вновь до известной степени поглотить воду, и вода выделяется из него как будто бы она находилась в кристаллической ячейке, как в сосуде — она как бы испаряется и вновь в нее оседает.

Можно убедиться, что явление, здесь наблюдаемое, — химического характера (см. цеолиты), и выделение воды имеет характер диссоциационного процесса, при чем вхождение воды очень мало меняет кристаллические свойства соединения.

**203.** Мы имеем здесь явление, очень мало изученное, но широко распространенное.

Цеолитная вода находится всегда в кристаллах как в определенных соединениях, так и изоморфных смесях. Она аналогична воде коллоидальных систем. И здесь удаление значительной ее части мало меняет или не меняет свойства соединения.

В цеолитах уход воды или ее вхождение не меняет свойства только до известных пределов. До известной степени это явление кажущееся.

Внимательное изучение окружающей среды указывает на нахождение больших или меньших количеств цеолитной и коллоидальной воды в большинстве вадозных продуктов. В почве, в глинах, в верхних жильных образованиях мы всюду находим такие диссоциационные, мало изученные системы. Для огромного количества таких тел, напр., гидратов окиси железа, гумусовых веществ, кремнеглиноземистых гидратов и богатых водою солей очень часто ее существование проявляется в невозможности взвешивания минерала на чувствительных химических весах — все время идет реакция с окружающей средой.

В 1896 году Фридель указал на возможность замены теряемой воды в цеолитах самыми разнообразными веществами, в том числе газами — повидимому, уходящая вода заменяется газами, «сгущенными» цеолитом.

К этому же роду малоизученных явлений относится, повидимому, получение однородных кристаллов, заключающих несколько процентов коллоидальных тел, которые дают кристаллы белковых тел.

Но при современных наших знаниях в минералогии диссоциационные системы имеют значение, главным образом, по отношению к нахождению воды в минералах — м. б. газов (см. вивьянит), как, напр., кислорода.

**204.** Диссоциационные системы выделены мною уже в первом издании этих лекций. (1898).

К § 202. A. Damour. Ann. de ch. et de ph. 53. P. 1858.

E. Mallard. Bulletin de la Soc. Minér. 5. P. 1882. p. 259.

К § 203. Friedel. Bulletin de la Soc. Minér. 19. P. 1896. F. Rinne. Neues Jahrb. f. Miner. St. 1897 (см. дальнейшую литературу цеолиты).

О кристаллах белковых тел обзор у E. Abderhalden. Handb. d. physiol. Ch. 4-te Aufl. 1. B. u. W. 1920. p. 419 сл.

## 5. Коллоидальные системы.

**205.** Коллоидальные системы характерны для биосферы. Рано умерший австрийский ученый Ф. Корну (§ 29, 177), выдвинувший это положение, считал их исключительно поверхностными образованиями. В действительности они наблюдаются и в более глубоких слоях, в верхних частях метаморфической оболочки, в жилах, напр., массы  $\alpha$ -настурана (одна из разновидностей урановой смоляной руды). Силикатовое

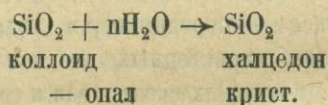
стекло, в виде жил пехштейна, точно так же выкристаллизовывается в более глубоких, чем биосфера, частях земной коры.

Но в общем несомненно, что коллоиды сосредоточены ближе к земной поверхности и представляют соединения, которые неизбежно имеют на земле очень временное существование; они неизбежно должны перейти в кристаллические тела.

Как известно, коллоид вообще меняется с течением времени — а время геологическое совершенно несравнимо по своей длительности с временем наших опытов. Коллоид, оставшийся даже все время в биосфере — на месте своего образования — пройдя через золи и гели, в конце концов дает кристаллические тела.

Мы знаем в природе коллоиды разного характера; подавляющее их количество связано с водой — однако, есть безводные структуры иного характера, менее изученные, как некоторые кремнистые стекла или битуминозные безводные тела.

Когда с течением времени, быстро или медленно, водные коллоиды обезвоживаются, они дают или определенные химические соединения, напр.,



или смесь разных химических соединений.

Эта смесь, равно как и подготавливающий ее гель, имеют нередко особый характер, так как элементы коллоида (мицеллы) чрезвычайно мелки, при медленном изменении проникают друг в друга и в течение перехода в кристаллическое состояние дают ряд таких коллоидальных или физических смесей, которые не получаются иным путем и должны быть рассматриваемы, как особые, по химическому составу, минералы.

**206.** Их характер обусловливается формой и составом образующихся при свертывании коллоидов гелей. Когда это свертывание дает значительные массы, получаются разнообразные минеральные тела — конкреции, стеклянные головы (133, 134) и т. д.

Но при рассматривании таких образований с химической точки зрения, получаются иногда такие смеси молекул, которые никаким образом не могут быть помещены в другие известные классы химических тел. Таковы некоторые сферолитовые и оолитовые образования, в которых отдельные микроскопические оболочки оолитов или иглистые тела сферолитов образованы разными по составу соединениями. Так обычная структура оолитов гетита [кристаллический гидрат  $\text{FeO}(\text{OH})$ ] делается ясно видной при обработке их соляной кислотой, остается кремнистый скелет оолита:

повидимому, оолит состоит из неразделимых тончайших оболочек гетита (иногда лимонита см.) и кремнистого тела (м. б. опала). Было бы неправильным с минералогической точки зрения считать эти тела за простые формы нахождения гетита, лимонита, опала, подобно тому, как невозможно не рассматривать, как единое целое, зерна крахмала или инулина, состав тонких оболочек которых различен.

Подобные сложные образования, частью гели, частью их перекристаллизации, встречаются в природе очень часто, особенно в связи со способностью зелей и гелей захватывать посторонние вещества, растворенные или взмученные в растворах.

Эта область явлений еще мало охвачена теорией, и эмпирический материал минералогии не сведен и не обработан. С многочисленными случаями таких химических структур мы встретимся при описании вадозных минералов.

**207.** Корну дал перед смертью лишь изложение своих общих выводов — F. Cornu. Centralblatt f. Miner. St. 1909. 325.

J. Breithaupt. Handbuch d. Mineralogie 2. 1841. 520.

Брейтгаупт, следуя старым наблюдениям, отметил уже своеобразное строение плотных масс — «породиновых» тел, остающихся до сих пор без изучения и очень характерных для коллоидов. Повидимому, это губчатые образования, в которых скелет тела и содержимое губки различны по составу, напр., в доломитах (см.) — гургоффаны, в сидеритах (см.),  $\alpha$ -настуранах и т. д.

## 6. Кристаллические сростания.

**208.** Особый тип минералов дают тела, представляющие тончайшие смеси различных химических соединений, распределение которых в пространстве обусловлено силами кристаллизации. Они получаются большей частью при совместной одновременной кристаллизации различных веществ. Отдельные неделимые сростаний бывают разных размеров, но с химической точки зрения имеют значение только сростания мелких, иногда микроскопически мелких кристаллов. Однако, законы сростаний одни и те же и в случае крупных, и в случае мелких неделимых. Мы имеем здесь, как во многих природных явлениях, непрерывный переход. С другой стороны, есть случаи (см. полевые шпаты), где величина неделимых достигает размеров для волн, они не могут быть видны в микроскоп и незаметно переходят в однородные химические соединения. Очень часто нет возможности решить (см. полевые шпаты), имеем ли мы дело с кристаллическими сростаниями тончайших неделимых или с изоморфными смесями.

Силы, которые обуславливают закономерное распределение химических элементов, вызываются контактом различных кристаллических тел. Это векториальные силы, аналогичные силам, строящим кристалл.

Они вызывают закономерные — правильные — сростания кристаллов различных веществ друг с другом и давно — уже с начала XIX века — вызывают внимание минералогов. Ясно, что они связаны с симметрией, но могут проявляться и между телами различных кристаллических систем. Есть невыясненная связь с химической структурой.

Мы имеем здесь полную аналогию с капиллярными силами, проявляющимися между жидкостями и в коллоидальных системах. Но это силы векториальные, обусловленные *кристаллической энергией*. Их нельзя отождествлять с обычными силами сцепления, вызывающими явления капиллярности.

**209.** Наблюдаемые явления сростания можно разделить на три группы, на основании границы между сростающимися телами. Характер этой границы находится в тесной связи с величиной, проявляющейся при сростании кристаллической энергии: она наименьшая, когда данная граница плоская; наибольшая, когда она неправильная, кривая. Плоская граница так же, как энергия граней, в кристаллических многогранниках отвечает наименьшей возможной величине кристаллической энергии и имеет обычно индексы определенной кристаллической грани<sup>1)</sup>. Такой характер проявляющихся при сростании сил является следствием роста кристаллов, подчиненных законам равновесия.

В связи с этим мы имеем сростания или структуры:

1. *Пертитовую* — граница между неделимыми, плоская.
2. *Зонарную* — граница между неделимыми состоит из нескольких граней.
3. *Пегматовую* — граница между неделимыми очень сложная, отвечающая кривым поверхностям. В тех случаях, когда между неделимыми мы не можем уловить никакой правильности, мы называем эту структуру *зернистой*. При изучении строения металлов в металлографии выделили ряд типов этих структур, мало пока отмеченных в природных соединениях.

Так как кристаллическая энергия проявляется при одновременной быстрой кристаллизации нескольких химически не действующих друг на друга компонентов, то, очевидно, обусловленные ею тела будут иметь место в химическом процессе при определенных физических условиях.

Поэтому они очень характерны для природных *эвтектик* — получаются при последних стадиях кристаллизации сплавов, застывания маточных растворов солей и т. п.

---

<sup>1)</sup> Эти грани аналогичны плоскостям сростания двойников.

Как известно, мы называем эвтектикой такую механическую смесь, которая выпадает одновременно в твердом виде при определенной температуре, обусловленной характером равновесия. Так, при застывании раствора она выделяется при самой низкой возможной температуре; в водных растворах она получила название *криогидрата*; так как отношения между количествами входящих в смесь веществ (солью и водой) близки к простым отношениям — криогидраты были приняты за химические соединения.

Эвтектические смеси получили большее значение при изучении металлических и силикатовых сплавов. Соответственно мы наблюдаем их в некоторых продуктах магм.

Но кристаллические сростания наблюдаются вне всякого соотношения с эвтектиками. Очень часто в них наблюдаются простые весовые соотношения или небольшие колебания около простых соотношений между входящими в сростание компонентами. Это является следствием подчинения их законам равновесия.

**210.** *Пегматитовые структуры* являются наиболее простым случаем зернистых структур. Для них характерно, что неделимые одного и того же компонента вполне параллельны или почти параллельны между собою, разных — не параллельны. Но эти две системы почти параллельных между собою неделимых отграничиваются друг от друга неправильными поверхностями. Иногда один компонент, если он преобладает по массе, представляет как бы губчатый кристалл или сросток почти параллельных неделимых, в пустотах которого расположены кристаллы другого неделимого.

В природе очень распространены пегматитовые сростания ортоклаза ( $K_2 Al_2 Si_6 O_{16}$ ) — приблизительно  $\frac{3}{4}$  по весу — и кварца ( $SiO_2$ ), образующие массы во многие тысячи тонн. Это одна из форм эвтектических сростаний. Эти пегматитовые сростания дают иногда ясные большие неделимые, но, вероятно, еще обычнее такие их формы, в которых неделимые микроскопически мелки. Границы между неделимыми и взаимное расположение сростающихся неделимых закономерны и подчинены математическим законам, которые начинают выясняться (Ферсман, 1922) для крупных сростаний.

Различные — по входящим минералам — пегматитовые сростания наблюдаются в пегматитовых жилах (§ 115), особенно в теле этих жил (§ 116).

Но мы наблюдаем такие же тела в других случаях и очень часто нельзя разделить сростающиеся части, которые тогда представляют — взятые вместе — определенный минерал. Известны такие тела среди сернистых соединений (см.), титанистых железняков и т. п.

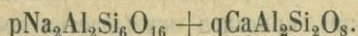
На них раньше мало обращали внимания, но сейчас открывается все большее и большее их распространение и значение в минеральном царстве.

**211.** Точно также оказываются все более и более распространенными *зонарные сростания*.

Среди них наиболее обратили внимание сростания, связанные с чередованием изоморфных смесей. Многочисленные кристаллы силикатов и алюмосиликатов — изоморфных смесей — в разных частях своих имеют различный состав, при чем составляющие данный кристалл оболочки так тонки, что нет возможности их отделить. Целый кристалл, как таковой, представляет закономерный продукт химического характера, так как твердый раствор, каким является изоморфная смесь, является, как мы видели, проявлением химических сил.

Такой кристалл на всем его протяжении или в некоторых своих частях (напр., в призматических кристаллах турмалинов (см.) оказывается состоящим из тончайших оболочек, облегающих друг друга, при чем каждая оболочка представляет различную по химическому составу изоморфную смесь, расположенную строго параллельно к другим оболочкам. Границы между ними отвечают кристаллическим граням. В относительно редких случаях эта структура видна простым глазом; но она очень характерна для микроскопически мелких кристаллов. От такого их строения получилось их название, так как в микроскопическом разрезе оболочки являются нам в виде поясов (зон).

Причиной образования таких кристаллов является то, что кристалл химического соединения может продолжать расти в среде, в которой выделяется другое соединение, способное давать изоморфную с ним смесь. В природе сложная среда, где выделяются изоморфные соединения, не остается неизменной в продолжение роста отдельных кристаллических неделимых. Поэтому, параллельно с изменением среды, будет химически изменяться образующийся в ней кристалл, получающий таким путем зонарную структуру. Очень яркий пример такого сростания дают некоторые кристаллы, выделяющиеся в магмах, напр., плагиоклазы:



В зависимости от изменения в количестве кальция и натрия в магме состав таких кристаллов совершенно постепенно меняется от центра их к окружности в ту или другую сторону.

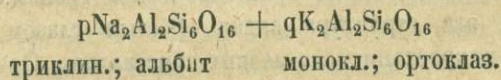
Зонарная структура отнюдь не является образующейся только в связи с изоморфными смесями; она получается и благодаря иным изменениям среды, напр., образованию разных слабых твердых растворов в кристаллах кварца  $\text{SiO}_2$ , состоящих из слоев, более или менее, напр., богатых растворенными битумами или соединениями марганца.

Явление это широко распространено и причины его различны.

**212.** В пертитовых сростаниях отдельные неделимые разного состава (два, три компонента) отграничиваются друг от друга одной плоскостью, по отношению к которой кристаллы разных соединений расположены правильным образом, аналогично двойниковым сростаниям тождественных кристаллических неделимых.

Можно выражать эту правильность сравнением распределения элементов симметрии каждого компонента, как мы это делаем по отношению к двойниковым законам. Неделимые каждого компонента взаимно параллельны и становятся в двойниковое положение по отношению к неделимым другого компонента.

Существование таких кристаллов было впервые открыто Гергардом в минерале пертита (из гр. Перт в Онтарио) и оказались широко распространенными в минеральном царстве, особенно в некоторых группах алюмосиликатов. Гергард показал, что пертит является правильным сростанием альбита и ортоклаза:



Особое значение имеет такая структура, когда неделимые достигают чрезвычайной тонины и образуют, так наз., микропертитовые или криптопертитовые сростания. Мы имеем здесь все переходы к телам, кажущимся при самом тщательном изучении однородными химическими соединениями — изоморфными смесями или двойными солями. Особенно затрудняются такие различия, благодаря частым простым весовым отношениям. Есть случаи, когда нельзя даже с уверенностью утверждать, видим ли мы в данном минерале (см. микроклин —  $(\text{K},\text{Na})_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$ ) — изоморфную смесь или криптопертитовое сростание.

Когда компоненты сростаются по одному закону — форма их пластинчатая. Когда повторяются сростания по нескольким разным законам (и плоскостям сростания), кристалл оказывается состоящим из мельчайших полиэдров двух или большего числа компонентов, закономерным образом, в связи с их симметрией, расположенных в пространстве и тесно между собой сросшихся.

**213.** О сростаниях между разными минералами см. O. Mügge. Neues Jahrbuch f. Miner. Beil. Bd. 16. St. 1903.

О пегматитовых сростаниях W. Brögger. Zeitschr. f. Kryst. 16. L. 1890.  
A. Фереман. Изв. Ак. Наук. П. 1915. 1911. Доклады Акад. Н. П. 1922. 7.  
Gerhardt. Zeitschrift d. deutsch. Geolog. Ges. 14. V. 1862, p. 151.

О кристаллической энергии — см. В. Вернадский. Извѣстія Академіи Наукъ. 1908.

## 7. Пойкилитическая структура.

**214.** Природные минералы и кристаллы обычно переполнены посторонними им *включениями*, минералами. Иногда они выделяются в них в виде относительно больших неделимых, иногда рассеяны в виде тончайшей мути.

С большим трудом среди массы вещества удается выбрать небольшое количество однородного вещества для анализа или для установления физических констант минерала. Иногда сделать это с полной точностью вполне невозможно.

Вся материя земной коры чрезвычайном образом перемешана, и это явление не есть случайность.

Когда включения минералов в другом минерале (более ранние генерации в данной местности) достигают значительных размеров, можно с ними не считаться при установлении химического состава последнего минерала. Но, когда размеры этих посторонних включений делаются чрезвычайно мелкими, и они проникают сплошь весь кристалл или вообще равномерно весь минерал — мы не можем отделить и отличить их от данного тела. Для нас они вместе представляют продукт химических реакций, так как иногда состав проникающей кристалл пыли связан с химической средой реакции и почти всегда пыль эта не остается инертной и безразличной в свойствах и судьбе содержащего ее минерала. Когда размеры сторонних частиц станут все мельче, приблизятся к длинам световых волн и будут распределены равномерно, мы не сможем отличить такие минералы от твердых растворов или от коллоидальных гелей.

Явление еще больше усложняется способностью мелких твердых тел в течение длинных рядов тысячелетий прилипать и проникать в другие твердые тела. Коллоиды, как мы знаем, свертываясь, очищают растворы от взмученных в них веществ и собирают их в своей массе. При этом могут получаться правильные числовые соотношения между количеством мути и массой выпавшего коллоидального тела.

Включения могут образоваться и позже образования минерала, при выделении в нем тел, находившихся раньше в изоморфной смеси или в твердом растворе, когда в разных термодинамических оболочках резко меняются химические функции тела. Это мы наблюдаем, напр., для окиси тория, основания в биосфере и кислотного ангидрида в ювенильной и фреатической области. Так, повидимому, можно объяснить неоднородность некоторых кристаллов циркона, содержащих торий (см. малакон).

**215.** Среди разнообразных типов этих механических смесей я остановлюсь только на одном — на *пойкилитических сростаниях* — в виду его важности в природе. Теоретические объяснения его не вполне удовлетворительны.

Такие кристаллы были описаны впервые в начале XIX века Беданом. В пустотах песчаника в Фонтенебло около Парижа были найдены кристаллы кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ), с совершенно однородной спайностью и наружной геометрической формой, непрозрачные, так как они больше, чем на  $\frac{2}{3}$  по весу, состояли из того же песка, который составляет песчаник, где он находится. Сrostки таких кристаллов достигали многих десятков килограммов веса. Бедан объяснял их существование действием собственной кристаллам кристаллизационной силы, сконцентрировавшей песок в кристаллах и позволившей кальциту выкристаллизоваться, несмотря на присутствие большого количества стороннего вещества. Кристалл является как бы губкой, впитавшей и сцементировавшей песчинки. Явление это наблюдается часто. С тех пор отмечены многочисленные случаи таких же образований в Европе, Азии, Америке.

Затруднение в их объяснении заключается в том, что обычно перекристаллизация тела очищает кристалл от механически взмученных частиц в растворе: кристалл всегда чище раствора. Кристаллизационные токи не захватывают или мало захватывают сторонние тела.

Однако, это зависит от быстроты кристаллизационных токов (связанных с быстротой сгущения раствора), движением раствора и количеством мути. Повидимому такие образования связаны с определенными условиями кристаллизации.

Так в пустынных местах, где идет быстрая кристаллизация гипса, где амплитуда колебаний суточной температуры очень велика, в слоях почвенной и подпочвенной воды получают огромные нередко пойкилитические кристаллы гипса. Объяснить их происхождение иначе невозможно. Они известны для пустынь Закаспийской области, для Гоби, Сахары, Ута.

Пойкилитические структуры очень часты среди минералов, и количества захваченных песчинок или мути находятся в закономерной зависимости от качества цемента.

От них есть все переходы в твердые растворы.

**216.** Новых сводок известных случаев *включений* нет. Старая: Söchting. Die Einschlüsse d. Mineralien in krystall. Mineralien nebst Betrachtungen üb. die Entstehung der Miner. u. Gesteine. Fr. 1860.

Многочисленные данные собраны в описаниях минералов разных местностей (лит. § 169).

О кальците Фонтенебло A. La Croix. Minéralogie de la France. 3. P. 1901-9 p. 515.

- Брюстер, Ф. В. Таблица логарифмов для химиков. Перев. инж. П. И. Красникова. 1924.  
 Лазарев, П. П., акад. Учение о химическ. действ. света, ч. I, 1919; ч. II и III, 1920.  
 Его же. Курская магнитная и гравитационная аномалия. 1923.  
 Лапинов-Скюбло, М. Я. Пути и достижения русской науки и техники за 1918—1923 гг.  
 Левинсон-Лессинг, Ф. Ю. Введение в геологию. 1923.  
 Леммель, Принцип относительности. Пер. под ред. проф. Я. Фрэнкеля. 1924.  
 Лейхман, Л. К. Словарик названий химических реактивов. 1924.  
 Лондон, Е. С. Принцип относительности. 1922. Изд. разошлось. 2-е изд. 1923.  
 Лоу, А. Технический анализ руд. Пер. И. И. Средника. 1921.  
 Любименко, В. Н. Химико-Технический Справочник, ч. IV, вып. I. Растительное сырье. 1921.  
 Лукашук, А. Редкие газы, найден. их в природе и технич. применение. 1923.  
 Лялин, Л. М. Химическая технология органических веществ, ч. I. 1920; ч. II, вып. I и вып. II. 1922; вып. III. 1924.  
 Его же, Хлеб. 1919.  
 Его же, Научные основы консервирования. 1922.  
 Машкиллейсон, Е. К. Гидрогенизация жиров. Под ред. и с вступительной статьей акад. В. Н. Ипатьева. 1923.  
 Мейтнер, Л. Радиоактивность и строение атома. Пер. В. А. Унковой. 1922.  
 Меншуткин, В. Н. О новейших направлениях в химии. 1922.  
 Нессельштраус, Г. З. Быстрорежущая сталь. 1924.  
 Никитин, Н. И. Химическая переработка древесины. 1924.  
 Новиков, М. М. Бюкли и его работа. 1922.  
 Ногин, К. И. Смолокуренно-скипидарное производство. 1924.  
 Омелянский, В. Л., акад. Практическое руководство по микробиологии. 1923.  
 Его же, Лун Кастер. 1922.  
 Его же, Кефир и кумыс. 1923.  
 Его же, Микроорганизмы, как химические реактивы. 1924.  
 Ост, Г. Химическая Технология. Вып. I. Красящие и волокнистые вещества. Ред. пер. и перераб. главы искусств. красящ. вещества. А. Е. Порай-Кошица.  
 Отчет Техн. Совета, Отд. Хим. Пром. В. С. Н. Х. 1921.  
 Павлов, М. А. Металлургия чугуна. 1924.  
 Паров, Е. Сушка картофеля. Перевод Н. С. Щегляева под ред. Л. М. Лялина. 1923.  
 Планк, М. Природа света. Пер. М. А. Влох. 1922.  
 Попов, С. М. и Якимова, М. А. Метод приготовл. хлористого кальция. 1919.  
 Порай-Кошиц, А. Е. и Мылова, В. И. Домашнее крашение волокнистых веществ. 1919.  
 Его же. Руководство к лабораторным работам по химической технологии волокнистых веществ, ч. I. 1921.  
 Его же, при участии Д. Н. Грибоедова. Красочная промышленность. Справочник хим. пром. Вып. IV. 1924.  
 Раддиг, А. А. Джемс Уатт. 1924.  
 Ракузин, М. А. Протеины растительного царства. 1919.  
 Его же. Химия протеинов и родственных им веществ, ч. I. 1923.  
 Его же. Нефть и ее обработка. 1923.  
 Резерфорд, Эддингтон, Лодж. Атомы. Электроны. Эфир. 1921.  
 Рюмплер, А. Сахарное производство. Пер. Г. Жукова под ред. Л. М. Лялина.  
 Садилов, В. С. Химия жизни. Вып. I. 1923.  
 Сальдау, П. Я. Применение удушливых газов для истребления вредителей сельского хозяйства (сусликовых и саранчевых). 1924.  
 Сапожников, А. В. Грибки-вредители дерева. 1922.  
 Сборник работ по чистой и прикладной химии, издав. Химич. Инстит. имени Л. Я. Карпова в Москве под ред. А. Н. Ваха. № 1. 1923; № 2. 1924.  
 Сборник имени Д. К. Чернова. 1923.  
 Сборник памяти Л. А. Чугаева. Под ред. акад. В. Н. Ипатьева. 1924.  
 Селибер, Г. Л. Химико-Технический Справочник, ч. IV, вып. II, под ред. В. Н. Любименко. Масличные растения. 1922.  
 Селяков, Н. Я. Рентгеновы лучи и структура вещества. 1923.  
 Слопцов, В. И. Физиологическая химия, ч. I и II. 1922.  
 Сообщения о научно-технических работах в Республике. Вып. I, II, III. 1920; IV, VI, 1921; VII, VIII, IX. 1922; X, XI (Менделеевский съезд). 1923; XII. 1924. XIII, XIV (съезд физиков), XV (съезд металлургов). 1924.  
 Сырокомский, В. Н. Редкие элементы. 1919.  
 Технико-Экономический Вестник. № 1—3, № 4—5, № 6—7, № 8—9, 1923. № 10—11, № 12. 1924.

- Тредвелл, Ф. П. Таблицы качественного химического анализа. Пер. Е. Д. Воловой. 1924.
- Труды Технического Совета. 1922.
- Уинни, У. О значении работ русских химиков для мировой химии. 1924.
- Успехи Биологической химии В. И. Под ред. акад. В. Л. Омелянского. 1924.
- Успехи тепловой техники. Под ред. А. А. Радцига. 1924.
- Успехи современного дизелестроения. Под ред. В. Ю. Гиттиса.
- Фарион, В. Отверждение жиров. Перевод Г. В. Брахмана и З. А. Дамье под ред. С. П. Лангового. 1922.
- Федоровский, Н. М. Генетическая минералогия. 1920.
- Его же. Опыт прикладной минералогии. 1924.
- Федотьев, П. П. Электрометаллургия, ч. I, 1921; ч. II, 1923; ч. III, 1922.
- Его же. Технический анализ минеральных веществ, ч. I, 1922; ч. II, 1924.
- Ферсман, А. Е., акад. Руководство к собиранию минералов. 1920.
- Его же. Пути к науке будущего. 1922.
- Его же. Геохимия России. 1923.
- Его же. Химия элементов земли и космоса. 1923.
- Его же. Химические проблемы промышленности. 1924.
- Фокин, Л. Ф. Химия цианамида. 1921.
- Его же. Промежуточные продукты. 1921.
- Его же. Обзор химической промышленности, ч. I. 1921.
- Его же. Каменноугольная смола. 1922.
- Фосфориты, как непосредственное удобрение. 1924.
- Химико-Технический Справочник. Ч. I. Ископаемое сырье. Под ред. акад. А. Е. Ферсмана и Д. П. Щербакова, с синоптическими таблицами М. А. Блох. 2-е доп. изд. 1923.
- Хлопин, Г. В. Химическая промышленность и народное здоровье, ч. I. 1920; ч. II, 1921; ч. III, 1922; ч. IV, 1924.
- Хлопин, В. Г. Урмийская экспедиция. 1923.
- Чечотт, Г. О. Обогащение полезных ископаемых. Вып. I. 1921.
- Чугаев, Л. А. Открытие кислорода и теории горения. 1921.
- Его же. Природа и происхождение химических элементов. 1923.
- Его же. Д. И. Менделеев. 1921.
- Шикк, О. Химик-текстильщик. Пер. А. М. Васильева под редакцией проф. А. Е. Порай-Копица. 1923.
- Юрганов, В. В. Керамическая промышленность. Справочн. хим. пром. Вып. II. 1922.
- Яковкин, А. А. Основные законы и понятия химии. 1922.

223