



АКАДЕМИК
В. И. ВЕРНАДСКИЙ

+2

ОЧЕРКИ ГЕОХИМИИ

1927-71



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
1927

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО РСФСР

МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

ГЕОЛОГИЯ. ПАЛЕОНТОЛОГИЯ. МИНЕРАЛОГИЯ. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ.

- Архангельский, А. Д. — Введение в изучение геологии Европейской России. Часть I. Стр. 146. Ц. 1 р. 20 к.
- Борисяк, А. — Курс исторической геологии (Геологические периоды). С рис. и атласом карт. Стр. 452 + 35 табл. (Атлас). Цена с атласом 1 р. 50 к.
- Вульф, Г. В. — Основы кристаллографии. Изд., исправл. и дополн. Стр. 96. Ц. 1 р. 20 к.
- Вульф, Г., и А. Шубников. — Практический курс геометрической кристаллографии со стереометрической сеткой. Стр. 60; 9 табл. Ц. 1 р. 30 к.
- Гефер, Г. — Подземные воды и источники. А. Н. Семихатов. — Артезианские и глубокие грунтовые воды европейской части СССР. Стр. 304. Ц. 3 р. 50 к.
- Земятченский, П., проф. — Краткий учебник кристаллографии. Изд. 5-е. Стр. 109. Ц. 70 к.
- Зильберминц, В. А. — Руководства и таблицы для определения минералов при помощи паяльной трубки. Стр. 246. Ц. 3 р. 25 к.
- Конспективный курс геологии с минералогией. По лекциям, читанным проф. А. С. Гинзбергом в 1920 — 1921 гг. Стр. 88. Ц. 20 к.
- Левинсон-Лессинг, Ф., и Д. Белякин. — Учебник кристаллографии. Ч. I. Геометрическая кристаллография. С 254 фиг. Изд. 12-е. Стр. 141. Ц. 2 р.
- Лучицкий, В. И. — Курс петрографии. Изд. 2-е, дополн. и испр. Стр. 341. Ц. 1 р. 70 к.
- Мушкетов, И. В., проф. — Физическая геология.
Том I. Общие свойства и состав земли. Вулканизм, землетрясения, тектоника. Изд. 3-е. С 680 рис. в тексте. Стр. XII, 778. Ц. 7 р. 50 к.
Том II. Денудационные процессы. Геологическая деятельность атмосферы, подземной и проточной воды, озер, моря, снега и льда. Изд. 3-е. С 542 рис. в тексте. Переработ. и доп. Д. И. Мушкетов. Стр. 636. Ц. 7 р. 50 к.
- Нечаев, А., проф. — Минералогия. Изд. 4-е (посмертное). Под ред. В. Зильберминца. Стр. 293. Ц. 2 р. 75 к.
- Ог, Э., проф. — Геология. Перев. с франц. под редакц. и с дополн. проф. А. П. Павлова. Том I. Геологические явления. Изд. 3-е. Стр. 563. Ц. 4 р. 50 к.
- Павлова, М. В. — Палеозоология. Часть I. Беспозвоночные. Страниц 316. Ц. в/п. 5 р. 50 к.
- Сущинский, П., проф. — Краткий курс кристаллографии. I. Геометрическая кристаллография. Стр. 142. Ц. 1 р. 40 к.
- Яковлев, П. И., проф. — Учебник палеонтологии. (С 831 фигурой в тексте.) Изд. 3-е, измененное и дополн. Стр. 464. Ц. 5 р.

АКАДЕМИК
В. И. ВЕРНАДСКИЙ

ОЧЕРКИ ГЕОХИМИИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1927 ЛЕНИНГРАД

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА ТЕХНИЧЕСКАЯ
ЛЕНИНГРАДСКАЯ

5104

$\frac{3}{64}$

$\frac{Ж}{78}$



Гиз № 19009/л.
Ленинградский Гублит № 38731
23 л. Тираж 2000 экз.

ОТ АВТОРА.

Эти очерки являются переработанным изданием моей французской книжки *La géochimie*, вышедшей в 1924 году в Париже. Многое написано вновь, весь текст тщательно пересмотрен и изменен. Мне кажется, — изменения так велики, что перемена заглавия вполне оправдывается. Это заглавие к тому же более отвечает духу русского языка.

Французская книга составилась из лекций, которые я читал в Париже, в Сорбонне в 1923 — 1924 годах по приглашению Парижского Университета. Я издал только лекции первого года; курс, читанный во втором году, — история в земной коре железа, меди, свинца, редких элементов — остался еще в рукописи.

Книга не является курсом геохимии. Она, однако, может служить введением в эту новую дисциплину, и мне кажется, может быть полезной и нужной для высшей школы, в которую до сих пор геохимия еще правильным образом не вошла. А между тем знание ее достижений необходимо для химика, минералога, биолога, геолога, географа. Ее искания сталкиваются с областью, охваченной физикой, и подходят к самым общим проблемам естествознания. С ними неизбежно должна считаться философская мысль. Ее положения играют все бóльшую и бóльшую роль в понимании учения о полезных ископаемых и начинают входить в области земледелия и лечения.

Значение геохимии в системе знаний неизбежно должно все более увеличиваться, так как неуклонно растет темп ее работы и быстро углубляется область ее исканий. В связи с быстрым ростом науки пришлось коренным образом перера-

ботать (после 1923 года) части книги, касающиеся явлений жизни* и радиоактивных элементов.

Везде я старался использовать новейшую литературу, и я думаю, что примечания к книге могут быть полезны для всякого, ищущего точного знания.**

Я буду считать мою задачу достигнутой, если эти «Очерки» возбуждают интерес к геохимии в моей родной стране.

6 февраля 1927.

* Многие вопросы, здесь затронутые, развиты в моей только-что появившейся книжке «Биосфера I — II». Ленинград. 1926 (Научн. Техн.-Хим. Изд.) Она может служить дополнением к этим очеркам.

** Номера с боку страниц текста указывают примечания, отнесенные в конец книги.

ОЧЕРК ПЕРВЫЙ.

ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ.

1. Геохимия — наука двадцатого столетия.

Мы живем на повороте, в удивительную эпоху истории человечества. События чрезвычайной важности и глубины совершаются в области человеческой мысли.

Основы наших взглядов на Вселенную, на Природу — на то Единое Целое, о котором так много говорили в XVIII веке и в первой половине девятнадцатого столетия, преобразуются на наших глазах с необычайной быстротой, небывалой в истории мысли. Не одни теории и научные гипотезы — эти мимолетные создания разума, — но и точно установленные новые факты и их венец — эмпирические обобщения исключительной ценности заставляют нас переделывать и перестраивать картину природы, которая оставалась нетронутой и почти неизменной в течение нескольких поколений ученых и мыслителей.

Новые взгляды на мир, в сущности, углубленное обновление веками сложившихся старинных представлений об окружающей среде и о нас самих, захватывают нас с каждым днем все больше и больше. Они неуклонно проникают все дальше и глубже в области отдельных наук, в поле научной работы.

Эти новые воззрения касаются не только окружающей нас косной природы; они захватывают и явления жизни; они глубоко изменяют наши представления в областях знания, которые нам наиболее близки и часто нам кажутся наиболее важными. Можно сказать, что никогда в истории человеческой мысли идея и чувство единого целого, причинной связи всех научно-наблюдаемых явлений не имели той глубины и той ясности, какой они достигли в XX столетии. Изучение изменения происшедшего и происходящего в идеях и в понятиях заставляет

нас думать, что мы еще очень далеки от конечного результата и едва различаем направление, по которому пошло новое научное творчество.

Это мы должны учитывать при оценке новых пониманий атома и химического элемента, проникающих нашу современную науку.

Они слагаются среди неустановившейся, изменяющейся, все еще мало нам известной картины космоса. Атомы и элементы — древние интуиции античной мысли — меняют в этой новой, все еще полной противоречий, обстановке свой облик и приобретают новые формы.

Каждый химический элемент отвечает для нас особому атому или атомам, глубоко отличным по своему строению от других атомов, соответствующих другим химическим элементам. Атом науки XX века не есть атом древних мыслителей — эллинов и индусов — или мусульманских мистиков средних веков и ученых нашей цивилизации последних четырех столетий. Это совершенно новое понятие. И если исторически корни современных понятий могут быть сведены к атомам и к элементам древней науки и философии, — изменения, которые они претерпели, так велики, что от старого остались одни лишь названия. Все изменилось коренным образом.

Может-быть, было бы правильно дать «атому» XX века новое название. Это можно было бы сделать без всякого ущерба для научной правды. Наш атом совершенно не похож на материю, которую он образует. Законы, к нему относящиеся, не тождественны с законами образованной им материи. В материи, в ее химических и физических свойствах мы наблюдаем лишь общие, статистические свойства больших совокупностей атомов, которые выявляют в смутной и сложной форме лишь часть — кажущуюся ничтожной — свойств и строения самих атомов. Атом не есть материя.

Атомы также не являются бесформенными и бесструктурными центрами энергии, «центрами сил», какими наделял материю великий сербо-хорватский мыслитель XVIII века дубровничанин РОЖЕР БОШКОВИЧ, французский академик в своем глубоком динамическом представлении о Вселенной.

Новое понятие об атоме, новые научные факты, которые не могут быть введены в схемы физико-химических наук последних столетий, требуют создания новых научных дисциплин,

отличных от прежних, изучавших материю — совокупность атомов — под статистическим углом зрения. И мы в XX в. являемся свидетелями расцвета этих новых наук, наук об индивидуальных атомах: физики атомов, радиологии, радиохимии и последней появившейся — геохимии.

Геохимия изучает химические элементы, — т.-е. атомы — земной коры и насколько возможно земного шара. Она изучает их историю, их распределение во времени и в пространстве. Она резко отличается от минералогии, изучающей в том же пространстве и в том же времени лишь историю соединений атомов — молекулы и кристаллы.

В этой ограниченной области она открывает те же явления и законы, существование которых мы могли до сих пор только предчувствовать в безграничных областях небесных пространств. Для нас в настоящее время очевидно, что химические элементы не распределены в беспорядке в сгущениях материи этих пространств — в туманностях, звездах, планетах, космической пыли. Их распределение зависит от строения их атомов.

Понятия о большом и малом суть меры человеческие. Они не существуют в космосе. И мы видим, что одни и те же законы господствуют как в великих небесных светилах и системах, так и в мельчайших молекулах материи, быть-может, даже в еще более ограниченном пространстве атомов.

Более двух с половиной веков тому назад один из крупнейших ученых, голландец Х. Гюйгенс (1629—1695) выяснил неизбежность тождественности материи Вселенной и нахождения жизни на всем ее протяжении.

Тождественность материи вытекала и из законов тяготения его современника Ньютона. Но лишь в XIX столетии, через 150 лет после Гюйгенса, англичанин В. Гюггинс установил посредством спектрального анализа эту тождественность для звездных миров.

Творческий взрыв идей, который мы переживаем, не расшатал этого основного положения. Он выразил его в новом понятии о тождественности основных элементов — электронов и протонов (из которых построены все атомы, т.-е. химические элементы) и в генетической — хотя и сложной — связи, существующей между атомами различного строения.

Устанавливая законы и правильности истории химических элементов нашей планеты, изучая атомы, мы изучаем

законности мельчайших пространств, неразрывно связанных с великим целым космоса. Между ними существуют глубокие аналогии и даже нечто большее, чем аналогии.

2. Из прошлого геохимии.

Геохимия — история химических элементов нашей планеты — могла возникнуть лишь после окончательного выявления новых понятий об атоме и о химическом элементе. Она могла окончательно возникнуть в наше время.

Но корни ее идут глубоко в прошлое науки, и мы сейчас видим, как разрозненные искания многочисленных ученых прошлых веков под влиянием великих научных обобщений нашего времени принимают новые формы, получают новый смысл и оказываются между собою связанными. Я не могу здесь останавливаться сколько-нибудь подробно на истории этих идей, на создании геохимии. Еще не сделана предварительная работа, и нет сейчас возможности дать полный и связный очерк пути, пройденного здесь человеческой мыслью.

Можно, несомненно, найти ясные искания, связанные с геохимическими проблемами уже в XVII веке, когда впервые для отдельных ученых стали ясными те идеи о химических элементах, которые затем господствовали в химии XVIII и XIX столетий. Один из основателей учения об элементах Р. Бойль (1627—1691) может в то же самое время считаться одним из первых предшественников современной геохимии.

Я не буду сейчас углубляться в эти забытые теперь научные искания, которые, конечно, не прошли бесследно и в действительности так или иначе отразились на современной научной мысли. Они длились почти два столетия. Уже ко второй половине XVIII века геохимические проблемы начали возбуждать научный интерес, хотя представление о химическом элементе иногда было смутное и далекое от идей XIX и XX столетий.

7 Руэаль старший и его более великий младший современник Лавуазье, творческая работа которого была прервана в ее полном расцвете, ярко ставили эти проблемы. Мы не знаем, до каких высот мог бы еще подняться Лавуазье. Как раз перед смертью он — в истории воды и в физиологии дыхания — стал подходить к глубоким геохимическим проблемам.

Руэлли старший очень мало печатал, но оказал огромное влияние на современников своими публичными экспериментальными лекциями химии, которые он читал в Париже, в Королевском Ботаническом Саду. На его лекции собиралась вся интеллигенция Парижа, можно сказать, тогдашней Европы, к ним стремились все многочисленные иностранцы — нередко крупные умы, — толкавшиеся тогда в ее среде. Учесть влияние Руэлля сейчас очень трудно, — этого никто и не пытался сделать. Но совершенно ясно, что оно было велико, шло из Парижа по всей Европе и чувствовалось долго после его смерти.

В трудах Лавуазье — в истории элементарных газов в земной коре, в истории воды — мы имеем уже яркие образчики геохимических обобщений, выраженных близким нам научным языком. Огромное влияние идей Лавуазье на всю новую химию чрезвычайно способствовало проникновению в нее геохимических проблем. С его времени те или иные из этих проблем непрерывно стали входить в курсы химии.

Старший его современник Леклерк де Бюффон в своей истории минералов, стоя совершенно в стороне от наших представлений о химическом элементе, дал целый ряд блестящих и интересных обобщений и поставил ряд больших геохимических проблем. Их мы находим в главах об истории самородных элементов, в частности металлов. Но мы находим их и в других местах его *Les Epoque de la Nature* (1780) и *Histoire naturelle, générale et particulière* (1749 и след.). Бюффон был не только великим писателем, это был один из гениальных глубочайших натуралистов, один из тех немногих людей, которые действительно научно созерцали Вселенную, как Единое Целое. Мы встретимся не раз в этих «Очерках» с его достижениями.

К началу XIX столетия новая химия овладела научной мыслью. «Химический элемент» быстро получил новое выражение, резко отличное от того, какое ему придавал даже Лавуазье. Казалось, геохимия была на границе своего возникновения, но она не была создана. Повидимому, собранный эмпирический материал слишком был мал, и понимание самого химического элемента было глубоко недостаточно. Это было время создания современной химии и геологии. Мысль и интересы всецело — в этой области — были поглощены этой работой.

В литературе того времени мы на каждом шагу наталкиваемся на размышления о геохимических проблемах. История химических элементов в земной коре — их роль в природных процессах и в частности в живой природе — сто лет тому назад в самых разнообразных проявлениях охватывала научную мысль.

Три оригинальных талантливых ученых, глубоко проникнутых геохимическими исканиями, ярко выдвигаются на грани XVIII — XIX веков. Это англичанин Гемфри Дэви (J. Humphrey Davy, 1778—1829) и немцы Рейль (J. Reil, 1759—1813) и А. фон Гумбольдт (1769—1859). Главная блестящая работа А. фон Гумбольдта, пруссака по происхождению, прошла вне стран немецкого языка, и сам он в первой половине XIX столетия весь жил умственной атмосферой Парижа.

Гемфри Дэви, блестящий экспериментатор, физик и химик, охватывавший всю науку своего времени, мыслитель, шедший своим путем и задумавшийся над проблемами бытия, одаренный глубоким, поэтическим пониманием природы, все время связывавший науку с жизнью, является одной из самых ярких фигур первой половины столь богатого ими XIX столетия.

Дэви оказал огромное влияние на науку своего времени своими лекциями, многочисленными статьями и книгами, блестящими опытами. В его работах мы найдем на каждом шагу данные об истории химических элементов в земной коре. В этом отношении он развил в новом масштабе пути, открытые Руэллем и Лавуазье. Его работы явились прообразом всех позднейших трактатов химии, всегда связывавших изложение химии элементов с их геохимией. В позднейших обобщающих обзорах Дюма, Либиха, Менделеева и других, подходивших к этим вопросам с меньшим талантом, мы всегда находим размышления и нередко яркие обобщения в области геохимических проблем. После него геохимические проблемы вошли в курсы неорганической химии; в них мы находим их в течение всего XIX века. Они изучались между прочим в истории отдельных химических элементов.

Совершенно иной была судьба Рейля. Один из самых замечательных врачей своего времени, беззаветно преданный помощи страдающим, он и умер на посту, не жалея себя. Рейль погиб в расцвете своих научных исканий.

Врач, анатом, психиатр, физиолог — он не интересовался проблемами геохимии в прямом их понимании. Это был, впрочем, человек широкого философского мышления, натуралист, какими были все крупные врачи его времени. В философии он примыкал к натурофилософским течениям, был, повидимому, близок к Шеллингу, но мыслил самостоятельно.

Его значение в истории геохимии связано с изучением химии организмов.

Он впервые — в эпоху новой химии — ярко выдвинул значение химии организмов — и в этом отношении стоял далеко впереди своего времени. Корни его стремлений и его идей идут вглубь медицинской традиции. От иатрохимиков XVII и XVIII столетий, может-быть, еще от Парацельса, значение химии в медицинских системах и в понимании лечения страждущих все время не сходило с горизонта мысли врачей. Непрерывно в течение столетий идут поколения врачей-химиков. Рейль считал необходимым тщательное опытное химическое исследование организмов и искал в них разгадки проявлений жизни. Он, несомненно, являлся новатором, работа которого была прервана смертью. Трудно сказать, что бы дал Рейль, если бы не ранняя его смерть.

На этом же пути шла независимая мысль одного из удивительнейших людей первой половины XIX столетия Александра фон Гумбольдта. В своих молодых работах, особенно во «*Florae Fribergensis specimen*» (1793), еще до углубления в природу тропической Америки, А. Гумбольдт подошел чрезвычайно близко ко многим современным проблемам геохимии. Эти работы молодого Гумбольдта были прерваны многолетним путешествием, обработкой его результатов, а затем созданием того удивительного синтеза, каким является его «Космос». Уже в старости, в пятом недоконченном томе «Космоса», он вернулся к одной из геохимических проблем, — к влиянию жизни. Но эту работу прервала смерть на полуслове.

В указанной работе его молодости, 1793 года, осталась яркая попытка охватить живые организмы с точки зрения их химических элементов, при чем Гумбольдт — минералог и геолог — неуклонно искал их начало в окружающей растения косной материи. Пришлось ждать десятки лет, чтобы проблема была поставлена вновь с той же яркостью, как это было сделано Гумбольдтом. Его постановка проблемы географического

распространения организмов далеко заходит за пределы работ его последователей; она глубже возникших под его влиянием новых отделов географии и приближается к геохимическим концепциям нашего времени. Для него живое вещество есть неразрывная и закономерная часть поверхности планеты, не отделимая от ее химической среды.

В XIX веке шла в трех направлениях подготовка поля исследования современной геохимии. С одной стороны, постепенно выяснялась картина единства химического элементарного состава Вселенной. Она была впервые поставлена на опытную почву после того, как космическое происхождение метеоритов вошло в общее сознание. Оно вошло в жизнь в первой четверти XIX столетия в значительной мере благодаря неустанной многолетней (1794 — 1826) работе Э. Ф. Хладни (1756 — 1827), оригинального ученого, стоявшего подобно Гумбольдту вне рамок немецкой университетской науки. Хладни и в жизни шел своим путем и в науке явился новатором. Хладни не был химиком. Тожественность химического состава метеоритов с составом земных тел была впервые установлена В. Говардом (1802), и тогда же де-Бурнон выявил их минералогическое отличие от земных минералов. Оба положения быстро вошли в научное сознание, но выводы из них были сделаны значительно позже.

Медленнее проникло в науку представление о тождественности химических элементов, входящих в живой организм и в мертвую косную материю. До сороковых годов XIX столетия это представление еще не считалось научно установленным и проверялось специальными опытами; такие крупные ученые, как Дюма, еще с этим считались. К середине века, следуя по путям, блестяще разрабатывавшимся Г. Дэви, были выявлены основные черты питания растений, сразу охваченные в своем планетном значении, т.-е. изучавшимися не только в биологическом, но и в геохимическом аспекте. Здесь наблюдалась непрерывная традиция еще со времен Лавуазье.— Ж. Б. Дюма, Ж. Буссенго, К. Шпренгель, Ю. Либих, и множество работников, за ними последовавших, или же современников, шедших отчасти своим путем, точно установили картину геохимического значения зеленых растений,— как увидим, основной части живого вещества биосферы. Дюма, Буссенго и Либих выяснили значение зеленой жизни в газовом обмене

планеты, при чем глубже других проник в нее, вероятно, Буссенго, ярче понимавший геохимический аспект явления. Он сталкивался с ним вне лабораторий, в природе, — во время своего долгого пребывания в тропиках и изучения вулканических явлений и минералов. Это был один из самых проницательных мыслителей в этой области в XIX веке, в работах которого мы и сейчас всегда находим новый, неиспользованный материал. Шпренгель и Либих выяснили с неменьшей точностью значение «зольных элементов», при чем теоретические построения Либиха оказали огромное влияние на понимание этих явлений и произвели полный переворот в объяснении явлений удобрения. В другой связи они выявили геохимическую ²⁰ роль зеленых растений в использовании соединений фосфора (что было ясно и Буссенго), калия и других нужных растению элементов.

Одновременно везде проводилась химиками другая работа по изучению окружающих нас минералов, вод, газов, горных пород. Для очень многих — особенно химиков — минералогия представлялась «химией земной коры», как ее называл И. Б. Берцелиус. Постепенно точное исследование природы минералов ²¹ накопило огромный материал в этом направлении. В то же время анализ горных пород, исследование вод, химическое изучение полезных ископаемых дало к середине XIX века прочную основу для эмпирических обобщений. К 1850 году — в период 1847 — 1849 — были даны этим путем обобщения тремя оригинальными натуралистами. Работы их дополняют одна другую и обобщают огромный вековой материал, собранный путем точного наблюдения и опыта. Каждый в отдельности не сумел охватить одним синтезом всю область геохимии, но, как мы теперь видим, вышедшие почти одновременно результаты их многолетних работ дали в целом уже готовую канву для новой науки. Современники, однако, этого не видели — они усматривали только противоречия — и не охватывали их как проявление одного и того же целого.

Это были К. Бишоф, профессор в Бонне, выпустивший в 1847 году первый том своей *Lehrbuch d. allgemeinen u. chemischen Geologie*, профессор в Париже Эли де Бомон, ²² в 1846 году напечатавший в *Bulletin de la Société Géologique de Paris* блестящий — непонятый современниками — мемуар об *Emanations volcaniques*, и профессор в Фрейберге И. Брейтгаупт, ²³

синтезировавший в 1849 году вековую работу Фрейбергской минералогической школы в своей книге *Paragenesis der Mineralien*.

В этих работах мы имеем уже ясные и прочные корни основных данных геохимии. Если бы кто-нибудь мог в это время, скажем, в 1850 году, охватить весь этот материал, он дал бы нам — уже тогда — основы науки, сложившейся в XX веке.

Никто не мог этого дать, благодаря своеобразной атмосфере геологической работы в то время. Это было время замиравшего, но еще не законченного спора непунистов и плутонистов, захватывавшего в XVIII—XIX веках ученых трех поколений. Одни — непунисты — считали, что окружающая их земная природа создана силами воды и сложилась при обычных температуре и давлении. Теснейшим образом связанная с водой, жизнь имела свое почетное место в созидании окружающей нас природы. Жизнь для непунистов была огромная сила, а не случайное явление в истории планеты. Другие — плутонисты — не придавали никакого серьезного значения силам и явлениям земной поверхности. Они полагали, что огромные силы, находящиеся внутри планеты, которую они представляли себе еще находящейся в стадии расплавленной горячей магмы, формируют окружающую нас природу. Жизнь в ней, при всем ее разнообразии и кажущемся значении, является мелкой частностью, не отражающей основных явлений существования планеты. Силы, деятельность которых проявляется в вулканах, гейзерах, землетрясениях, термах, образуют все основные черты лика земли, связаны и с образованием гор, горных пород и скоплений воды и газов.

Эти два противоречащих представления о нашей планете действительно затрагивали основные черты миропонимания. Выбор между ними приводил к противоположным выводам, имевшим глубокое жизненное значение. Вопрос шел о значении жизни, духовного элемента в строении Космоса. Можно понять значение этих старых споров в чуждой нам умственной жизни того времени, обратив внимание на творчество великого натуралиста и поэта, яркого и страстного непуниста, каким был В. Гете. Второй том его Фауста, где он пытался в течение всей своей жизни выразить свои представления о будущем и о задачах человеческой жизни, весь — в основном — проникнут отражениями и отголосками этого спора.

К. Бишоф стал нештунистом, придя к сознанию значения 25
земной поверхности в истории планеты путем долгого размышления и экспериментирования, — после того, как в первые молодые годы своей научной жизни он был плутонистом. Этот совершившийся перелом в его представлениях отразился на всей его работе, при чем он в новой обработке своего замечательного труда, произведенной им в старости, не сумел отбросить оболочку представлений, ставших уже к тому времени пережитком прошлого. Исходная точка сказалась в его работе. Он действительно доказал значение воды, собрал огромное количество фактов, дал яркие картины истории многих химических элементов, в конце концов показал, что и в явлениях косной материи их история сводится к круговым процессам, в которых в первых частях своего труда он видел яркую особенность органических элементов. Для органических элементов эта картина уже была дана в его время Дюма, Буссенго и Ливихома. В связи с этим в его работе выдвинулись явления жизни в химических процессах земли. Влияние его труда было огромно и не только на континенте, но и в странах английского языка; труд его в первой основной своей части был издан в переработанном виде в 1850-х годах на английском языке, и сам Бишоф был связан с английскими научными кругами.

В отличие от Бишофа, Эли де Бомон был плутонистом 26
и выдвинул связь химических элементов и закономерности их взаимного нахождения, вытекающие из магматических и вулканических процессов. Долгое время замечательная работа Эли де Бомона мало обращала на себя внимание вне Франции, частью благодаря господству нештунических идей, частью, в связи с неудачными гипотезами Эли де Бомона об образовании горных цепей, с которыми эти работы были тесно связаны. Но долго спустя после его смерти правильность его обобщений была подтверждена точным наблюдением, оказала большое влияние на геологическую мысль и целиком вошла в геохимическую работу.

Точный эмпирик И. Брейтгаупт также шел незави- 27
симым путем. В указанной работе и в течение всей своей жизни, пользуясь опытом рудного дела, он выдвинул соотношения между элементами (и минералами), находящимися вместе, которые выходили за схемы чистых нештунистов и плутонистов. Процессы, изучавшиеся Брейтгауптом, не подходили под простые

схемы непунистов и плутонистов и открывали новые явления в нашей планете, односторонне освещавшиеся и Эли де Бомоном и Бишофом. Брейтгаупт был не один, по тому же пути и в то же время шли и непунисты и плутонисты, точные эмпирики-наблюдатели рудных месторождений, среди которых ярко выдвигаются работы Дюрошэ, Фурнэ, Геннууда и др. В этих явлениях обнаружались новые свойства воды и выяснилось влияние высокой температуры. Изучение всех процессов под углом зрения рудных месторождений, прежде всего металлов, неизбежно заставляло изучать их историю в земной коре, т.-е. историю химических элементов.

По всем этим путям — при постепенном замирании и непунических и плутонических схем — шла научная работа во второй половине XIX столетия. Геология быстро вышла из старых схем и охватила более разнообразными построениями сложность явлений природы. В то же время внимание химиков отвлеклось от геохимических проблем, и на первое место в истории химических элементов стали все больше выступать такие их свойства, которые, казалось, не проявлялись в процессах нашей планеты. Химический элемент стал более абстрактным; казалось, что между геологическими и химическими науками существует основная, непроходимая грань. Это ярко сказалось в различных классификациях наук, столь многочисленных в это время. Умножение исследователей было неблагоприятно для создания геохимии. Такой обобщающий и глубокий охват химии, в котором в блестящей форме вылились традиции Руэлля, Лавуазье и Дэви, обработанный оригинальным мощным умом, как Д. И. Менделеев, в «Основах химии» стоял совершенно особняком. В «Основах химии» и проблемы геохимии и космической химии получали не только яркое освещение, но нередко выступали на первое место. Как всегда, у Д. И. Менделеева это не было повторением того, что давалось другими, — на каждом шагу встречается новое, найденное его яркой личностью, схваченное его всеобъемлющим умом.

В общем, ни в геологии ни в химии не было создано благоприятной среды для развития геохимических проблем в цельную, обособленную, научно-обоснованную новую дисциплину. Почва была не готова; она медленно подготавливалась в течение десятилетий, начиная со второй половины XIX столетия.

Можно отметить три изменения в представлениях об окружающем, которые дали прочную основу новой науке уже в следующем XX столетии.

Прежде всего, начиная со второй половины XIX века, началось изменение наших представлений о химии Космоса. Единство его химического состава, которое, как мы видели, было ясно для Гюйгенса в XVII веке и вновь было подтверждено анализом метеоритов, получило новое прочное обоснование с открытием Г. Р. Кирхгоффом и Р. Бунзеном спектрального анализа в 1859 году. Это было одно из самых великих расширений человеческого кругозора, по существу, как мы видим теперь, одно из глубочайших проникновений в строение сущего. Спектральный анализ указал на химическое единство Вселенной. Хотя до сих пор в спектрах небесных светил мы имеем ряд спектральных линий, нам неизвестных, твердое убеждение натуралистов об единстве химического состава мироздания все упрочивается. Одновременно уже Кирхгофф и Бунзен доказали повсюдность, рассеянность в земном веществе многих химических элементов, — факт, уже до них ставший ясным отдельным более тонким наблюдателям, например, Г. Дэви. Эти элементы — что не всегда сознается — не могут находиться в форме обычных химических молекул, по крайней мере, в очень многих таких находениях.

В конце концов стало ясно, что геохимические проблемы составляют неразрывную часть проблем космической химии, что химия земли есть одно из выявлений планетной химии и что история химических элементов, особенно в связи с тем глубоким изменением наших о них представлений, которое за это время произошло, является более широкой основой научного исследования, более глубоко проникает в суть явления, чем изучение их молекул (минералов и кристаллов).

Одновременно резко менялись — но это изменение долго не сознавалось — наши представления об области, подлежащей точному геологическому, в том числе и геохимическому, изучению.

В первой половине XIX века полагали непреложным, что геологические явления могут служить основанием для суждений о всем земном шаре. Весь спор непунистов и плутонистов был в своем корне основан на этом убеждении. Тонкая поверхностная пленка, полная жизни, наша биосфера, казалось, терялась и никла в общей массе планеты. Отражения

внутренних частей планеты, столь преобладающих по массе своего вещества, должны были являться основными и главными и в геологических явлениях.

Медленно, но неуклонно из поколения в поколение эти представления исчезали, так как постепенно выяснялось, что все геологически изучаемые процессы захватывают только наружную часть планеты — земную кору. Наружными оказались и такие процессы, которые раньше относили к внутренности земли.

Постепенно определились и границы этой коры, не превышающие 100 верхних километров. Впервые к этому взгляду подошли геодезисты, и уже в 1851 году английский священник ПРАТТ дал основы учения об изостазисе — о неоднородном строении наружной земной коры, ее отличии в этом отношении от однородных глубоких слоев планеты. Он указал, что с земной корой, а не с глубиной земли, связаны величайшие, известные нам на поверхности земли явления — образования горных цепей. Идеи Пратта, в общей форме сформулированные через тридцать лет ДЕТТОНОМ, получили значение только в XX столетии.

Но уж раньше геологи иным путем подошли к тем же заключениям.

Благодаря этому резко изменились все представления о геологических проблемах. Вулканические продукты, продукты жизни, морские осадки одинаково оказались телами одной и той же планетной области. В общем понимании геохимии значение жизни повысилось и по существу изменилось.

Наконец, в то же время совершался еще более глубокий переворот в нашем общем миропонимании. Старая идея ДАЛЬТОНА и ВОЛЛАСТОНА, может-быть, не вполне ясная им самим в ее логических последствиях, стала реальностью. Атом и химический элемент оказались идентичными. Для понимания атома оказалось возможным пользоваться свойствами химического элемента. Атом сделался для нас такой же реальностью, как химический элемент; он оделся плотью и кровью; стал конкретным телом. Это достижение науки получено было в XX столетии, но все последние десятилетия, вопреки тому, что казалось современникам, фактически были к нему подготовкой. Как известно, к концу XIX столетия казалось, что атомистическое представление об окружающем теряет почву и что мы вступаем в эру динамических идей о мире, в тех обработках

энергетических теорий, которые в то время занимали внимание. В действительности же это было лишь кажущимся явлением — реально атомистическое представление так овладело сейчас научным пониманием мира, как никогда раньше. Правда, сам атом в новом миропонимании ушел далеко от атома философов и даже физиков. Это химический элемент химиков в образе атома.

Происходившие изменения позволили впервые охватить как целое, как особую научную дисциплину, геохимические проблемы — выделить геохимию как науку, имеющую своей задачей изучение истории атомов, понимаемых как химические элементы на нашей планете. Реально мы изучаем только поверхностную ее оболочку — земную кору.

Конкретно такое выделение новой науки происходило более или менее независимо в разных местах культурного мира. В Вашингтоне Ф. Кларк, химик Американского Геологического Комитета, всю жизнь занимавшийся геологическими проблемами, кажется, впервые дал этой новой дисциплине то название, какое за ней и удержалось, в своей книге — *Data of geochemistry*, первое издание которой вышло в 1908 году. Здесь ³¹ собран огромный фактический материал. Кларк стремится в ней дать точные числовые данные по истории главнейших химических элементов. Хотя он в молодости (1872) был одним из первых, решившихся научно приступить к вопросу о возможности превращения одного химического элемента в другой в связи с их историей в Космосе, и хотя через 53 года он вновь вернулся к этим космогоническим обобщениям, он в своей *Data* ³² *of geochemistry* стремился не к гипотезам и к обобщениям, а к сопоставлению и к критике точных числовых данных по истории химических элементов в земной коре, в ее процессах — к изучению состава моря, среднего состава рек, среднего состава земной коры; он всюду вносил новые числа и критическую переработку старых. Книга Кларка действительно сделалась основой для дальнейших обобщений и дальнейшей работы в геохимии. ³³

Собрав эти факты как основу новой науки — геохимии, Кларк закончил в XX веке работу Бишофа; книга его явилась результатом многолетней работы. Еще в 1882 году появились его первые расчеты валового химического состава земной коры, которые Кларк непрерывно улучшал и изменял,

согласно новым данным (последний раз в 1924 году совместно с Г. Уошингстоном). Эти данные — числа Кларка — долгое время не оказывали влияния на научную мысль, встречали возражения, и их огромное значение оценено было лишь за последнее десятилетие. Значение это может оказаться еще большим, чем думал Кларк, если подтвердится сходство наружной оболочки нашей планеты с составом внешних оболочек других небесных тел.

Как мы увидим ниже, Кларк здесь шел по путям, указанным еще в начале XIX века Филлипсом, но он впервые поставил задачей получение не примерной числовой оценки явлений — числовой прикидки, а конкретного точного числа.

Другим путем, вне прямой зависимости от Кларка и его сотрудников, шла работа в том же направлении в Московском Университете в 1890—1911 годах. Она была тесно связана с общей постановкой преподавания минералогии, при чем на первое место выдвинута была история минералов, изучение их генезиса и их изменения, обычно отходившие на второй план при изложении минералогии. При таком изложении минералогии геохимические проблемы выступали в ней еще в большем масштабе и более значительно, чем это было обычно в университетских курсах неорганической химии. Постепенно работа Минералогического Кабинета Московского Университета, а позже связанная с ней работа Минералогического Музея Академии Наук в Петербурге все более и более направлялись к геохимии. Данное Кларком имя нашло здесь сразу уже готовое, иное, однако, чем у него, содержание и благодарную почву. Явления жизни и осадочных пород, в связи с общими вопросами о свойствах и о характере атомов, выступили на видное место. Здесь, в Москве, в Университете имени Шанявского, впервые, в 1914 году, А. Е. Ферсманом был прочитан первый университетский курс этой новой науки. Ряд работ А. Е. Ферсмана и Я. В. Самойлова продолжал эти традиции геохимической работы.

К XX веку изучение рудных месторождений, сделавшее к этому времени большие успехи, чрезвычайно способствовало созданию геохимии. Тесная связь геохимических проблем с учением о рудных ископаемых, приведшая в прошлом столетии к обобщениям Бишофа, Брейтгаупта, Эли де Бомона, никогда не прерывалась. Но в новом столетии она получила

совершенно новый облик, благодаря успехам химии и благодаря чрезвычайно высокому подъему техники, в частности, усилению значения металлов, характеризующему новый век. Работы Де-Лонэ, Штельцнера и главным образом северо-американских горных инженеров, среди которых нельзя забыть Ван-Хайза и В. Линдгрена, связали геохимию с рудной практикой и придали ей большое практическое значение. Благодаря этому чрезвычайно увеличился объем фактов, дающих основу научному изучению геохимических проблем, и самые проблемы сильно изменились в своем содержании.

Сейчас обращено усиленное внимание на эти явления. Начинается период создания особых геохимических исследовательских институтов, первым новейшим приближением к которым может считаться институт В. М. Гольдшмидта в Норвегии.

Создание геохимических исследовательских институтов стоит на очереди дня, и интересы науки и потребности жизни вызывают их появление.

3. Геохимическая классификация химических элементов.

Первый вопрос, возникший в геохимии — это число предметов, подлежащих ее изучению, т.е. число химических элементов и атомов различного строения, существующих или могущих существовать в нашей планете. Мы можем при современном состоянии науки изучать этот вопрос лишь в поверхностном слое земли.

Относительно этой области можно ответить на поставленный вопрос с достаточной определенностью. В общем, принимая во внимание лишь известные изотопы, а не изотопы возможные, мы можем установить более 200 различных строений атомов, соответствующих 92 атомным числам — числам Мозели — периодической системы Менделеева (таблица 1).

В пределах таблицы Менделеева — все представители 92 относящихся к ней атомных чисел, по видимому, известны; они или выделены, или присутствие их на нашей планете подтверждено точными данными.

Но возможно, впрочем, что в мире или на нашей планете существует несколько химических элементов, в эту таблицу входящих, элементов более легких, чем водород (число

Т А Б Л И Ц А I. ⁵¹
 ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.

	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	
1.008	4.00	6.94	9.02	10.9	12.00	14.0008	16.00	19.0	
	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	
	20.2	23.00	24.32	27.1	28.1	31.04	32.07	35.46	
	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe
	39.88	39.10	40.07	45.1	48.1	51.0	52.0	54.93	55.84
		29	30	31	32	33	34	35	36
		Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Ni
		63.57	65.37	69.7	72.6	74.96	79.2	79.92	58.68
	36	37	38	39	40	41	42	43	44
	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo		Ru
	82.92	85.45	87.63	88.7	91.2	93.5	96.0		101.7
		47	48	49	50	51	52	53	45
		Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Rh
		107.88	112.40	114.8	118.7	121.8	127.5	126.92	102.9
									46
		54	55	56	57	58	59	60	44
		Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	
		130.2	132.81	137.37	139.0	140.25	140.9	144.3	101.7
			62	63	64	65	66	67	43
			Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	
			150.4	152.0	157.3	159.2	162.5	163.2	68
									Er
									167.7
		69	70	71	72	73	74	75	76
		Tu	Yb	Lu	Hf	Ta	W		Os
		169.44	173.5	175.0	178.6	181.5	184.0		190.9
									77
		79	80	81	82	83	84	85	78
		Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po		Pt
		197.2	200.6	204.0	207.20	209.20	210		195.2
									79
		86	87	88	89	90	91	92	80
		Em-Nt		Ra	Ac	Th	Pa	U	
		222.0		226.0	(230)	232.15	(234)	238.18	

Мо з е л и для которого — единица), или более тяжелых, чем уран, атомное число которого равно 92. Это возможно не только теоретически. Указывается существование (по спектрам) на солнце и в туманностях легких газов — небулия и корония. 52

Мы должны, следовательно, считать, что число элементов (92) и число известных изотопов (194) есть число не окончательное, а лишь временное, нам пока известное.

Мы можем изучать элементы лишь в тонком поверхностном слое нашей планеты, не превышающем 16 километров, который мы будем называть земной корой. Я буду еще иметь случай вернуться к этой коре, и мы увидим, что мощность ее более значительна и доходит до 60 — 100 километров.

Над ней стелется атмосфера. С земной корой химически связана лишь нижняя ее часть — тропосфера, мощность которой колеблется между 9 и 13 километрами (стр. 58). Высота всей атмосферы, т.-е. газов, следующих за движением нашего планетного тела, гораздо значительнее, она без сомнения превышает 600 километров. 53

Химические элементы очень различно распределены в веществе земной коры и во входящей в нее тропосфере. Различие между количествами разных химических элементов (атомов разного рода) огромно. Количество кислорода (самого распространенного) в $n \times 10^{11}$ раз больше количества радия, но радий не является самым редким простым телом земной коры.

Я даю здесь таблицу количеств, масс химических элементов, находящихся в земной коре (включая атмосферу), выраженную в процентах веса земной коры и в тоннах. (Таблица II.)

Эта таблица в своих основных чертах дана была американским ученым Ф. Кларком, изучающим эти вопросы уже более сорока лет. Я ввел в нее исправления и изменения, которые мне кажутся нужными, и придал ей другую форму. Она построена на огромном числе установленных фактов и на многих тысячах химических анализов. Одни последние исчисления Кларка и Вашингтона основаны на 5508 полных химических анализах горных пород, сделанных в последние тридцать лет. Первые попытки исчисления сделаны были более ста лет тому назад. В 1815 г. английский минералог В. Филлипс впервые дал такие подсчеты для 10 химических элементов. Он несколько раз возвращался к этой задаче, но его исчисления, поддержанные Д. Филлипсом и Г. Деля Бешем, не вошли 54 55 56, 57

Т А Б Л И Ц А II.

ДЕКАДЫ (ПО ВЕСУ) ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ.

(Вес земной коры $2.0 - 2.2 \times 10^{19}$ тонн.)

Декады	% по весу	В тоннах
I	Больше 10	Больше 10^{18} ; O (49.5%), Si (25.7%)
II	1 — 10	$10^{17} - 10^{18}$; Al (7.5%), Fe (4.7%) Ca (3.4%), Na (2.6%), K (2.4%), Mg (2.0%), H (1.0%),
III	$10^{-1} - 10^0$	$10^{16} - 10^{17}$; Ti (0.5%), C (0.4%), Mn (0.1%), Cl (0.2%), S (0.15%), P (0.1%)
IV	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10^{15} - 10^{16}$; N, Ba, B, V, Li, Ni, Sr, Cr, Zr, Br, Ce, Cu, F.
V	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{14} - 10^{15}$; Be, J, Sn, Co, Th, U, Zn, Pb, Mo, Rb, Y.
VI	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{13} - 10^{14}$; Ag, W, Ta, Cs, Bi, Cd, Hg, Hf.
VII	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{12} - 10^{13}$; La, As, Nd, Nb, Sb, Ag, Se, Sc.
VIII	$10^{-6} - 10^{-5}$	$10^{11} - 10^{12}$; Tl, Po, Au, Pt.
IX	$10^{-7} - 10^{-6}$	$10^{10} - 10^{11}$; Ga, In, He, Pd, Er, Sm.
X	10^{-8} и меньше.	меньше 10^{10} ; Gd, Ge, Yb, Ir, Kr, Xe, Ne, Os, Rh, Ru, Tb, Tu, Eu, Ra, Dy, Ho, Po, Pa, Ac, Nt, Lu, № 43, 61, 75, 85, 87.

58 в науку. Все же небольшое число ученых, Эли де Бомон
59 и А. Добре между ними, не бросали этой задачи. Значительно
60 позже, в 1882 г., Ф. Кларк вернулся к этому вопросу систе-
матически для главных господствующих элементов, а в конце
61 XIX века норвежский ученый И. Фохт попытался охватить
этим путем все химические элементы. Сорок лет—достаточный
срок для суждения о правильности данного эмпирического
обобщения, и должно сказать, что в таблицу Кларка в даль-
62 нейшем никаких значительных изменений внести не пришлось.

Изучая ее, мы видим, что существует соотношение между обилием химических элементов в земной коре и строением соответствующих атомов. Это отношение, впрочем, очень сложно и известно нам не вполне. Несколько лет тому назад профессор Г. Оддо (в Павии) заметил, что химические элементы, принадлежащие к четным атомным числам, содержащие ядра гелия т.-е. элементы, атомный вес которых может быть разделен на 4, сильно преобладают в земной коре. Они образуют 86,5 процента ее общей массы. 63

Позже аналогичные исследования были предприняты и углублены профессором В. Гаркинсом в Чикаго. Гаркинс доказал, что тот же факт может быть наблюден в метеоритах, где процентный перевес элементов с четными числами еще значительнее. Он доходит до 99,22 процента для металлических метеоритов и 97,69 процента для каменных метеоритов. Метеориты — небесные тела, независимые от земли. Их химические процессы имеют очень отдаленную и неопределенную аналогию с процессами земной коры. Однако, в них наблюдается та же правильность: то же огромное преобладание (даже еще яснее выраженное) в их материи элементов с четным атомным числом, атомов с четными электрическими зарядами ядер. 64

Это очень простое наблюдение возбуждает, однако, очень важные вопросы. Прежде всего оно доказывает, что химический состав тонкой поверхностной пленки нашей планеты, которая, как мы знаем, совсем не соответствует составу всей планеты, — не случайный геологический факт, но функция строения атомов.

Сейчас выясняется и другая черта состава земной коры, связывающая его с строением космоса. Оказывается, что поверхностные части не только нашей планеты, но и других небесных светил — солнца и звезд — имеют аналогичный состав. Получается впечатление существования каких-то правильностей, может-быть, связанных с материальным обменом этих наружных оболочек. 65

Чисто геологические объяснения этого состава, которые, впрочем, пока отсутствуют, недостаточны; нужно искать разрешения вопроса в свойствах атомов в связи с строением космоса.

Влияние строения атомов должно проявляться и в других свойствах химических элементов земной коры, если только факты, отмеченные Оддо и Гаркинсом, не случайны.

Оно должно обнаружиться в классификации изучаемых тел — в «естественной» классификации, как говорили в XVIII и XIX веках. Такая классификация всегда лежит в основе всякой наблюдательной науки.

Одной из таких наук является геохимия. Мы должны поэтому начать ее изложение с классификации ее объектов — химических элементов — на основании изучения тех явлений, какие они создают в земной коре.

Для такой классификации необходима одна предпосылка — отсутствие в ее построении всякой гипотезы. «Естественная классификация» — всегда строго эмпирическое обобщение, основанное исключительно на научно-установленных фактах.

Геохимические факты не были приняты во внимание при построении периодической системы химических элементов. Поэтому геохимическая классификация элементов не может быть заменена их химической классификацией.

В основу геохимической классификации должны быть положены самые общие явления истории химических элементов в земной коре; все частности должны быть оставлены без внимания.

Самые общие явления могут быть сведены к следующим трем основным признакам:

1. Присутствие или отсутствие в истории данного химического элемента в земной коре химических или радио-химических процессов.

2. Характер этих процессов: их обратимость или необратимость.

3. Присутствие или отсутствие в истории химических элементов в земной коре их химических соединений или молекул, состоящих из нескольких атомов.

Подобно тому, как и во всяких естественных классификациях, может случиться, что границы между группами окажутся не вполне отчетливыми, например, в случаях, когда один и тот же химический элемент может быть отнесен к различным группам. В таком случае решающим моментом будет история главной по весу части атомов или наиболее яркие черты их геохимической истории.

Так, в истории сильно радиоактивных элементов, например, в истории радия мы наблюдаем обратимые химические процессы для его соединений и необратимые радиохимические процессы

для его атомов. Радий займет место в группе элементов, необратимость процессов которых явится самым отличительным их свойством. Мне кажется, что вообще трудности, с которыми мы здесь встретимся, не больше тех, которые свойственны всякой естественной классификации, ибо классификация всегда неизбежно связана с упрощением процессов, по существу неразделимых и нерасторжимых частей в целом окружающей нас природы.

При современном состоянии наших знаний существуют 68 четыре элемента, история которых в земной коре мало известна, вследствие чего нельзя ввести их с достаточной достоверностью в нашу классификацию. Вводить гипотезы я считаю лишним; проще оставить пока в стороне эти, в общем редкие, элементы— Nb, Ta, Hf и Zr. 69

Существуют три элемента: золото, германий и бериллий, положение которых может возбуждать сомнения. Наконец, вновь открытые химические элементы— Mn^{+4} 43 (двиманган), 61 (иллий), 75 (экаманган), 85 (экацезий) и 87 (экаиод) — только указаны, но не изучены. Мне кажется, что для всех остальных 80 элементов классификация с указанной точки зрения может быть дана без затруднений, совершенно эмпирически, не прибегая к гипотезам.

С этой точки зрения можно подразделить химические элементы на шесть следующих геохимических групп (таблица III, стр. 28).

Во всех этих группах различие между элементами четных и нечетных атомных чисел очевидно. Для групп I, III и IV оно может быть выражено количественно с достаточной точностью (таблица IV, стр. 28).

Для групп I и IV правильность эта несомненна. Для третьей группы, обнимающей преобладающее число элементов, она становится заметной лишь в отношении распространенных элементов, т.-е. главной по весу части вещества, составленного из элементов этой группы.

Для трех остальных групп количественные данные менее верные. Можно, однако, усмотреть из таблицы Ф. Кларка, — которая была составлена задолго до возникновения и совершенно независимо от наших идей об атомных числах, о положительных зарядах ядер, что элементы этих групп, сравнительно наиболее распространенные, отвечают четным атомным числам (табл. V, стр. 28).

Т А Б Л И Ц А III.

В этой таблице n — число химических элементов. Проценты отнесены к 92 химическим элементам таблицы Менделеева. Цифры внизу отвечают атомным числам (числа Мозели):

		n	%
I. благородные газы.	He ₂ , Ne ₁₀ , Ar ₁₈ , Kr ₃₆ , Xe ₅₄ .	5	5.44
II. инертные элементы	Ru ₄₄ , Rh ₄₅ , Pd ₄₆ , Os ₇₆ , Ir ₇₇ , Pt ₇₈ .	6	6.52
III. циклические элементы.	H ₁ , Be ₄ ?, B ₅ , C ₆ , N ₇ , O ₈ , F ₉ , Na ₁₁ , Mg ₁₂ , Al ₁₃ , Si ₁₄ , P ₁₅ , S ₁₆ , Cl ₁₇ , K ₁₉ , Ca ₂₀ , Ti ₂₂ , V ₂₃ , Cr ₂₄ , Mn ₂₅ , Fe ₂₆ , Co ₂₇ , Ni ₂₈ , Cu ₂₉ , Zn ₃₀ , Ge ₃₂ ?, As ₃₃ , Se ₃₄ , Sr ₃₈ , Mo ₄₂ , Ag ₄₇ , Cd ₄₈ , Sn ₅₀ , Sb ₅₁ , Te ₅₂ , Ba ₅₆ , W ₇₄ , Au ₇₉ ?, Hg ₈₀ , Tl ₈₁ , Pb ₈₂ , Bi ₈₃ .	42	45.65
IV. рассеянные элементы.	Li ₃ , Sc ₂₁ , Ga ₃₁ , Br ₃₅ , Rb ₃₇ , Y ₃₉ , In ₄₉ , J ₅₃ , Cs ₅₅ .	9	9.78
V. элементы сильно радиоактивные.	Po ₈₄ , Nt ₈₆ , Ra ₈₈ , Ac ₈₉ , Th ₉₀ , Pa ₉₁ , U ₉₂ .	7	7.60
VI. элементы редких земель.	La ₅₇ , Ce ₅₈ , Pr ₅₉ , Nd ₆₀ , J ₆₁ , Sm ₆₂ , Eu ₆₃ , Gd ₆₄ , Tb ₆₅ , Dy ₆₆ , Ho ₆₇ , Er ₆₈ , Tu ₆₉ , Yb ₇₀ , Lu ₇₁ .	14	15.22

Т А Б Л И Ц А IV.

Группы	Элементы четные %	Элементы нечетные %	Распространенность в % веса		Процент массы земн. коры
			четн.	нечетн.	
I	100	0	100	0	1.10^{-3}
III	54.76	45.24	85.4	14.6	> 99.7
IV	0	100	0	100	$> 1.10^{-1}$

Т А Б Л И Ц А V.

Группы	Четные элементы %	Нечетные элементы %	Распространенность в % веса		Процент массы земн. коры
			четн.	нечетн.	
II	66.66	33.33	ок. 98.2	1.8	1.10^{-6}
V	71.4	28.6	> 99.9	меньше 10^{-1}	$> 1.10^{-3}$
VI	50.0	50.0	прибл. 99.0	» 1.0	$> 1.10^{-1}$

Таким образом преобладание по весу химических элементов с четными атомными числами совершенно очевидно в пяти группах естественной классификации; в группу IV элементы с четными числами не входят.

Первая группа — группа благородных газов — включает элементы, которые, во-первых, не принимают участия в химических земных процессах и, во-вторых, не дают соединений с другими атомами. Это атомы нейтральные, химически инертные. Они сохранились неизменными в течение всего геологического времени и, как думает Ф. Муре, быть-может в течение периодов космических. Но это не доказывает, чтобы мы не должны были им придавать никакого значения в геохимической истории нашей планеты. Один из этих газов — гелий — очень распространен в веществе небесных тел и, по-видимому, играет в них важную роль, еще не выясненную. Его количество в земной коре изменчиво, ибо он в ней непрерывно образуется, благодаря разложению ядер атомов урана, иония, радия, эманиции радия, RaA, RaC, RaC', полония, тория, радиотория ThX, эманиции тория ThA, ThC', протактиния, радиоактиния, AcX, эманиции актиния AcA, AcC и AcC'. Сама способность его давать соединения не может считаться безусловной. Она не может считаться доказанной и для аргона, ибо существуют указания на его нахождение в организмах. Несомненно, во всяком случае, что наблюдается резкое различие между благородными газами и другими химическими элементами: в земной коре они ни соединений, ни скоплений в заметной мере не дают.

Вторая группа — группа инертных элементов в земной коре включает в себя два последних ряда восьмой группы системы Д. И. Менделеева. Эти элементы дают в наших лабораториях почти безграничное число устойчивых химических соединений: они этим отличаются от благородных газов. Но их соединения почти не образуются в земной коре, отвечающие им минералы (сплавы), созданные в глубоких слоях коры, в термодинамических условиях, очень отличных от биосферы, изменяются в течение геологического времени. Однако, эта устойчивость так же, как и для благородных газов, не полная. Для некоторой небольшой части их земной массы существуют, по-видимому, очень медленные химические реакции их изменения, мало изученные. Так, в поверхностных земных слоях образуются

73 кислородные соединения палладия, для него же и для платины
существуют изменения, новые перекристаллизации в биосфере,
в связи с новыми термодинамическими условиями существо-
74 вания минералов. Но эти местные химические реакции не
меняют общего характера группы — ее земной химической
инертности.

Третья группа — циклических или органогенных
элементов — наибольшая по массе. Она включает наиболь-
шее число химических элементов и образует почти всю земную
кору. Для нее характерны многочисленные химические обрати-
мые процессы. Геохимическая история всех этих элементов
может быть выражена круговыми процессами («циклами»).
Каждый элемент дает характерные соединения, постоянно воз-
обновляющиеся. После более или менее продолжительных и более
или менее сложных изменений элемент возвращается к первич-
ному соединению и начинает новый цикл, завершающийся для
элемента новым возвращением к первоначальному состоянию.
Этот характер земных химических реакций был для кислорода
замечен во второй половине XVIII ст.; великие ученые того
75 времени, открывшие земные газы и их свойства, предуга-
дали эти характерные химические циклы. Мне кажется, что
76 Д-р Прингль, тогдашний президент Королевского общества
в Лондоне, первый высказал эти ходячие тогда представления
в 1773 г. в своей речи о Пристлее; великое равновесие расти-
тельного живого — зеленого, хлорофильного — и животного веще-
ства по отношению к свободному кислороду и к углекислоте
им было в его основных чертах изложено. В следующем веке —
в 1842 году — два французских ученых Ж. Б. Дюма и Ж. Бус-
77 ссенго дали яркую картину этих циклов. В 1850-х годах
К. Бишоф, позже Ю. Либих и К. Мор перенесли эти предста-
78 вления на остальное вещество земной коры.

С той поры наука собрала огромное количество эмпириче-
ских фактов, подтверждающих эти обобщения. Факты эти,
однако, не были согласованы и находятся в состоянии почти
полного хаоса. Важное значение для этих циклов живого веще-
ства все более подтверждается. Это значение живого вещества
не только наблюдается для органогенных элементов таких как
С, О, Н, N, P, S, но и для металлов как, напр., для Fe, Cu, Zn,
V, Mn и т. д. и, как мы увидим, для всех химических элемен-
тов этой группы.

Элементы этой группы образуют циклы, характеризующиеся химическими соединениями, молекулами или кристаллами. Эти циклы обратимы лишь в главной части атомов, часть элементов выходит из круговорота. Этот выход закономерен, ибо круговой процесс не является вполне обратимым. Среди форм такого выхода из цикла особое значение имеет рассеяние элемента, его выход в форме свободных атомов. Быть-может, элемент этим путем выходит из цикла иногда навсегда. Все же ясно, что если даже будущие открытия более или менее изменят наши современные представления, они не поколеблют основного эмпирического обобщения, — господствующего значения химических соединений и обратимых циклов в истории главной массы земной коры.

Важно отметить, что как раз в этой группе сосредоточены «простые» (чистые) химические элементы, состоящие из атомов одного и того же порядка, чистые изотопы. Главным образом, это органогенные элементы, играющие большую роль в биохимии: O, H, C и P; но, кроме них, сюда же относятся Be, Na, F, As.

В следующей группе — группе рассеянных элементов как раз господствуют свободные атомы, которые охватывают меньшую часть циклических элементов. И для них существуют циклы. Эти циклы постоянно возобновляются. Правда, они не всегда выражены химическими соединениями, молекулами. Свободные атомы этих элементов принимают в них участие; их соединения разлагаются более или менее полно в одном участке этих циклов и возобновляются при новых термодинамических условиях в другом их участке. Все эти элементы отличаются отсутствием или редкостью химических соединений как в определенных участках земной коры, так даже и во всей земной коре.

Существует два случая, резко отличных друг от друга. Некоторые из элементов, как-то: Li, Sc, Rb, Y, Cs, может-быть, In дают химические соединения лишь в глубоких областях земной коры; их минералы разлагаются в поверхностной области, в биосфере; однако, новые соединения этих элементов — новые минералы — здесь не образуются; элементы не дают вадозных минералов. Это элементы, рассеянные во всем окружающем веществе в виде «следов», как говорят химики-аналитики, без всякого видимого отношения к тем минералам и к горным породам, в которых их находят.

Второй случай — иод и бром. Они вступают в соединения с другими элементами лишь в биосфере, все их минералы вадозные. Если мы постараемся восстановить их историю, узнать, откуда они происходят, мы убедимся, что источниками иода и брома служат, во-первых, слабые водные растворы и, во-вторых, живое вещество, которое их извлекло и сконцентрировало из тех же водных растворов. В глубинах коры мы находим иод и бром лишь рассеянными в следах — в минералах или в горных породах, метаморфизованных или изверженных без всякого видимого отношения к их химическому составу (стр. 40).

Наши знания недостаточны для того, чтобы дать историю галлия. Несомненно, галлий дает в биосфере слабые концентрации кислородных тел, отсутствующие в глубинах, где он находится в состоянии полного рассеяния. Вероятно, его история аналогична с историей иода и брома.

Таким образом, круговые процессы, отвечающие этим элементам, особые: элементы дают, чередуясь, химические соединения и свободные атомы.

Но большая часть их вообще не вступает в соединения. Они все время находятся везде в окружающем нас веществе в рассеянном состоянии, вероятно, в состоянии свободных атомов. Они находятся в состоянии, схожем с состоянием благородных газов, вне химических реакций в доступных нашему изучению частях планеты. Принадлежность всех этих элементов к одной и той же группе, к атомам с нечетными атомными числами, явно указывает, что в строении этих элементов есть особенности, связанные с таким их распространением.

Это явление заслуживает гораздо большего внимания, чем ему в действительности уделяют. Такое состояние химических элементов может вызывать процессы огромного космического значения. Если оно является общим свойством элементов с нечетными атомными числами, оно может объяснить преобладание в земной коре и метеоритах — их антиподов — четных элементов.

Пятая группа элементов включает сильно радиоактивные элементы, семейства урана и тория. Здесь неполная обратимость их круговых процессов совершенно очевидна. В общем уран и торий дают соединения, входящие в обратимые циклы, циклы замкнутые, аналогичные круговым процессам циклических элементов. Однако, часть их атомов теряется в течение

хода круговых процессов и обратно не возвращается; она разлагается, изменяется и дает начало другим элементам, из которых два — гелий и изотопы свинца — входят в совершенно другие геохимические группы, группы благородных газов и циклических элементов.

Возможно, что другие химические элементы представляют аналогичное явление для части своих атомов, как два радиоактивных элемента: калий (из группы циклических элементов) и рубидий (из группы рассеянных элементов). Однако, до сих пор в этой области мало точных наблюдений. Процесс распада атомов рубидия и калия может быть только чрезвычайно медленным и захватывать ничтожную пока неуловимую часть атомов.

Не исключена возможность и того, что нечто аналогичное имеет место для всех элементов. Даже если эти возможности станут научно установленными фактами, это не отразится на особом положении в классификации группы радиоактивных элементов; в ней распад элементов количественно не сравним с его возможным проявлением во всех других элементах.

Последняя группа, группа элементов редких земель, должна здесь, как и в периодической системе химических элементов, быть выделена в особое место. Я считаю, что в нее входит 15 химических элементов, — они соответствуют атомным числам от 57 до 71 без перерыва. Скандий и итрий, иногда относимые к этой группе, в нее не входят и относятся, как мы видели выше, к группе рассеянных элементов. С химической точки зрения это мне кажется несомненным для скандия. Что касается итрия, то некоторые химики, напр., Р. Фогель, пришли к необходимости отделения его от редких земель, исходя из чисто химических соображений.

С геохимической точки зрения для этих элементов наиболее характерно полное отсутствие их вадозных соединений (соединений, образовавшихся в биосфере). Однако, история их в биосфере до сих пор не вполне ясна. Очевидно, что некоторые из них, напр., гадолиний, самарий, европий, неодимий дают в ней рассеяния. Они входят так же, как, напр., церий и лантан, в живое вещество, где история их неизвестна. Но вместе с тем их главные минералы — монациты, ксенотиты, ортиты — образовавшиеся при условиях высокой температуры и высокого давления, очень устойчивы, очень мало изменчивы в совершенно отличном

от этих условий термодинамическом поле земной поверхности. Возможно, что большая часть их атомов остается здесь инертной, не мигрирует (стр. 252).

Существуют указания на генетические соотношения между элементами этой группы, но эти указания остаются до сих пор вне области фактов. Все же один факт несомненен. Все элементы этой группы — химическая туманность, как ее иногда называют — остаются всегда вместе, в одном теле, при чрезвычайно различных земных условиях; они не вступают в реакции с большинством земных химических элементов. Природная группа элементов редких земель кажется, таким образом, вполне обособленной.

Количество вещества, сконцентрированного в каждой из шести геохимических групп элементов, очень различно (таблица VI):

Т А Б Л И Ц А VI.

МАССЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ГРУПП ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ЗЕМНОЙ КОРЕ.

Благородные газы	10^{14} тонн
Инертные элементы	10^{12} »
Циклические элементы	$10^{18} - 10^{19}$ (близки к 2×10^{19}).
Рассеянные элементы	10^{16} »
Радиоактивные элементы	10^{15} »
Элементы редких земель	10^{16} »

Конечно, эта таблица должна быть рассматриваема лишь как первое приближение к действительности, но порядок явления она все же показывает довольно точно.

Циклические элементы образуют почти всю массу земной коры, больше 99,7 ее процентов. Однако, остающийся небольшой остаток — 0,3 процента вещества — не есть ничтожная величина. Он составляет квадриллионы метрических тонн.

В нем сосредоточены радиоактивные элементы, огромное значение которых в механизме биосферы станет ясным из дальнейшего изложения.

Это материя в химически активном состоянии, обладающая свободной (атомной) энергией, непрерывно производящая огромную химическую работу в земной коре.

Количество такой материи измеряется числом порядка 10^{15} метр. тонн. Близка к тому же порядку масса другой активной материи земли — живого вещества, не менее глубоко внедряющейся в механизм геохимических процессов.

В земной коре есть всего два типа химически активного вещества: радиоактивные элементы и живое вещество — совокупность живых организмов.

Отвечающие им обоим небольшие доли массы земной коры, немного сотых ее процента (десятитысячные ее доли) в сущности вызывают все грандиозные геохимические (а, вероятно, в значительной части геологические) процессы нашей планеты.

ОЧЕРК ВТОРОЙ.

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.

1. Форма нахождения химических элементов.

История химических элементов в земной коре может быть всегда сведена к их разнообразнейшим движениям, перемещениям, которые мы в геохимии будем называть их миграциями.

Таковыми миграциями будут являться движения атомов при образовании их соединений, переносы их в движущихся жидкостях, в газах, в твердых телах, при дыхании, питании, метаболизме организмов и т. п.

В результате таких миграций в земной коре создаются большие системы разнообразных химических равновесий.

В геохимии изучение этих систем равновесий — результатов миграций элементов — является основной задачей. Эти системы могут быть всегда выражены языком механики, в форме статических и динамических систем — равновесия атомов. Законы равновесий однородных и неоднородных систем каких бы то ни было тел, глубокий синтез которых был дан в конце прошлого века проникновенным охватом американского ученого В. Гиббса, — синтез, углубленный исследованиями французских ученых-мыслителей Г. Дюхема, К. Ле-Шаталье, немецкого физика К. Брауна и других, охватывают всю область геохимии.

Мы можем отличить в истории химических элементов земной коры несколько разных групп систем равновесия, могущих их удерживать неопределенное время, — бесконечное, если принять мерку наших веков. Эти группы систем равновесия более или менее независимы, и химический элемент, включенный в них, подчинен в каждой группе весьма различным физико-химическим законам.

Можно свести изучение геохимических проблем к изучению истории каждого химического элемента в условиях каждой из этих групп и к взаимному соотношению между этими прослеженными таким образом его историями, ибо характерной чертой земной истории химических элементов является непрерывный переход их в течение геологического времени из одной группы равновесий в другую.

Я буду называть эти разные группы систем равновесия разными формами нахождения химических элементов.

83

Я не могу здесь останавливаться более подробно на формах нахождения химических элементов. Замечу только, что таких форм должно быть очень много, но на земле, не говоря уже о земной коре, наблюдаются немногие. Если мы выйдем за пределы земной коры и еще более—за пределы нашей планеты,—мы встретимся с чуждыми формами нахождения элементов, нам здесь неведомыми; таковы, напр., «газы» из электронов солнечной короны, состояния вещества комет или туманностей, тяжелые газы таких звезд, как звезда В Сириуса.

84

Формы нахождения были выделены чисто эмпирически, причем оказалось, что каждая из них отличается особым состоянием в ней атомов. По существу это области разного состояния атомных систем.

В земной коре мы различаем четыре различных формы нахождения химических элементов. Во-первых, три следующие: 1) молекулы и их соединения в минералах: горные породы, жидкости и газообразные земные массы; 2) химические состояния живых организмов, живого вещества; 3) нахождения в кремневых магмах,—сложные, вечно изменчивые системы, более или менее вязкие, обладающие высокой температурой и высоким давлением, переполненные газами. Мы не можем себе ясно представить ни химических процессов, ни состояний атомов в этих средах, находящихся в чуждом нам термодинамическом поле явлений.

Но есть еще одна, четвертая, форма нахождения, обычно не отличающаяся и не принимаемая во внимание,—состояние рассеяния химических элементов. В миграциях элементов эта форма играет очень видную роль. Она, как мы видели, характерна для определенной геохимической группы элементов (стр. 32).

85

При изучении геохимической истории элементов нельзя оставлять без внимания ни одну из этих форм нахождения. Мы должны последовательно изучать судьбу каждого химического элемента во всех них и особенно останавливаться на миграциях элементов, как увидим, не случайных, из одной формы в другую.

Так как с этой точки зрения значение рассеяний элементов обычно не сознается,—я для его выяснения остановлюсь на истории двух химических элементов, принадлежащих к геохимической группе рассеянных элементов (стр. 32),—на иоде и бrome.

2. История иода и брома.

Мы знаем из ежедневного опыта наших лабораторий, что эти элементы в условиях нашей жизни могут давать тысячи соединений с другими простыми телами. Многие из этих соединений очень устойчивы в термодинамических условиях земной коры. Однако, они в ней не образуются. Мы находим только 12 минералов, содержащих иод, и 3—4 минерала, содержащие бром. Количество брома в земной коре не меньше 10^{16} метрических тонн, количество иода—порядка 10^{15} метрических тонн. Иод и бром гораздо более распространены, в несколько тысяч или десятков тысяч раз более, чем мышьяк, сурьма, селен или серебро, но, между тем, как число минералов этих последних элементов заходит за пределы ста для каждого из них, оно не больше 16 для брома и иода (таблица VII).

Существует пять сомнительных минералов для иода. Ни один минерал, заключающий иод или бром, не был найден в большом количестве.

Огромные массы, сотни тысяч тонн иода сосредоточены в иодноватокислом кальции, может-быть, в иодноватокислом натрии, очень мало изученных минералах, из которых лаутарит наиболее исследован. Эти иодноватокислые минералы рассеяны в селитрах и гипсах Южной Америки.

Иодистые и бромистые соединения серебра находятся в меньших количествах и кажутся более устойчивыми в нижних областях биосферы, ниже кислородной поверхности. Все другие минералы J и Br представляют минералогические редкости; их иногда находили килограммами или даже в меньших количествах. Нет

Т А Б Л И Ц А VII.
МИНЕРАЛЫ ИОДА И БРОМА.

И о д.	
1. Иодирит	Ag J
2. Майрсит	Cu J. 4 Ag J?
3. Иодэмболит (Иодобромит)	Ag (Br. J. Cl)
4. Купроиодаргирит	(Ag, Cu) J.
5. Токорналит	(Ag, Hg) J?
6. Маршит	Cu J?
7. Кокцинит	Hg J ₂ ?
8. Иодистый аммоний	NH ₄ J?
9. Лаутарит	Ca J ₂ O ₆
10. Иодат натрия	Na JO ₃ ?
11. Шварцембергит	Pb J ₂ O ₆ . 3 Pb ₃ O ₂ Cl ₂ ?
12. Дитцеит	7 Ca J ₂ O ₆ . 8 Ca Cr O ₄ ?

89, 86

Б р о м.

1. Бромаргирит	Ag Br
2. Иодэмболит (Иодобромит)	Ag (Br. J. Cl)
3. Эмболит	Ag (Cl. Br)
4. Бромистый аммоний	NH ₄ . Br.

сомнения, что количество иода в этой форме нахождения в минералах не превышает в лучшем случае нескольких миллионов тонн. Количества иода в изоморфных подмесьях, повидимому, еще более незначительны. В общем, количество иода в минералах представляет лишь ничтожную долю по сравнению с существующей в земной коре его массой. Все минералы и ода в а д о з н ы, т.-е. они образуются и существуют только в поверхностном слое коры, в биосфере. Не существует ни одного минерала иода или брома в слоях коры более глубоких, — в областях метаморфических или магматических. Иод и бром ⁹⁰ находятся в большом количестве в живом веществе, во всех организмах. Там он был открыт В. Куртуа. Многие орга- ^{91, 92} низмы жадно его захватывают. Так, по мнению А. Готье, весь иод биосферы, поверхностных слоев океана, до восьмисот метров глубины, почвы, атмосферы существует лишь ^{93, 94, 95} в этом состоянии, — собран в живом веществе. Не менее значительные количества иода (и брома) сосредоточены в водных

земных растворах, где они существуют в состоянии ионов I^- и IO_3^- . Организмы черпают из них свой иод (и бром). Это глубокие слои моря, озера и солонцеватые болота, термы, соляные источники, горизонты подземных вод, вся пресная вода. Минеральные источники, несомненно, заимствуют свой иод и бром из метаморфических слоев коры. Однако, эти термы не проникают в большие их глубины и могут черпать лишь относительно малое количество иода и брома из этих областей.

Миллионы миллионов тонн земного иода не входят ни в организм, ни в минералы, ни в природные воды. Они рассеяны в горных породах. Все изверженные и метаморфические горные породы и составляющие их минералы, не говоря об осадочных породах, содержат иод в виде следов—в количествах 1.7×10^{-5} — 1.25×10^{-4} %, по А. Готье, в несколько меньшем, по новым анализам Т. Фелленберга и его сотрудников, от 1.9×10^{-5} до 8.1×10^{-5} %. Рассеяние иода полное, напоминая в этом отношении сделавшееся нам привычным нахождение радиоактивных элементов. Его можно найти во всех без исключения минералах, в которых он иногда собирается в несколько больших количествах. Многочисленные измерения Фелленберга дают пределы от 3.8×10^{-8} % (борнит) до 5.10^{-6} % (кальцит). Рассеяние в виде следов является наиболее характерной и обычной формой нахождения иода в земной коре. Мы не можем установить никакого отношения между его количеством и другими элементами горных пород и минералов, где он найден, как-будто атомы или, может-быть, ионы иода рассеяны во всем земном веществе под влиянием сил не химических, а скорее физических, быть-может, междоатомных. Наши знания о распространении брома менее полны, но ясно, что его история вполне подобна истории иода.

Здесь мы видим замкнутый круг нового рода. Иод и бром проникают в состоянии рассеяния вещество земной поверхности. Их атомы или свободные ионы захватываются из него живыми организмами и сосредоточиваются в создаваемых ими соединениях, содержащих иногда, как, например, тела морских губок, до 8,5% иода и, вероятно, больше. Повидимому, часть рассеянных атомов иода захватывается также поверхностными химическими реакциями и дает вадозные минералы. Очень вероятно, однако, что эти химические реакции могут протекать лишь в зависимости, прямой или косвенной, от живого

вещества, ибо они наблюдаются только в условиях благоприятных накоплению органического вещества, продукта жизни. С течением времени иодистые и бромистые продукты организмов, так же как и вадозные минералы, разрушаются, иод и бром возвращаются в состояние атомов и ионов с тем, чтоб вновь начать тот же круговой процесс. Этот цикл захватывает, однако, лишь малую часть всей их земной массы и является второстепенным циклом в их существовании. Главная масса их связана с рассеянным состоянием.

На этом примере мы уже видим, что изучение одних минералов и горных пород отнюдь не дает нам сколько-нибудь полной картины бытия химических элементов в земной коре.

Столь же мало оно ее дает для наиболее распространенных элементов, строящих земную кору — элементов циклических.

Здесь на видное место выступают не рассеяние, а «живое вещество», живые организмы.

Без него их история не может быть понята.

3. Живые организмы в земной коре.

Живые организмы с геохимической точки зрения не являются случайным фактом в химическом механизме земной коры; они образуют его наиболее существенную и неотделимую часть. Они неразрывно связаны с косной материей земной коры, с минералами и горными породами. Изучая живые организмы, биологи в большинстве своих работ оставляют без внимания неразрывную связь, существующую между окружающей средой и живым организмом. Изучая организм, как нечто совершенно отличное от среды, от космической среды, как говорил К. БЕРНАР, 101 они изучают не природное тело, а идеальный продукт своей мысли. Это во многих случаях необходимый научный метод работы, но он всегда требует внесения поправок. Следуя ему, сложные явления природы часто заменяют упрощенными моделями, идеализируют эмпирические выводы или факты. Материальный треугольник не есть треугольник геометрии, атмосфера физика не есть окружающая нас атмосфера, животное или растение биолога не есть живое реальное тело, не есть живой природный организм.

Великие биологи давно сознавали неразрывную связь, соединяющую организм с окружающей его природой. В конце

102 XVIII века В и к д'А з и р ярко выразил эти идеи в своих блестящих лекциях, читанных в Париже, в которых он старался дать научное и логическое определение жизни. Это была яркая попытка разрешить проблему скорее логическую, чем научную, в течение многих поколений возбуждавшую интерес ученых и философов. К ю вье в своем знаменитом докладе, представленном в 1808 году На по ле о ну, о состоянии наук во Франции после Революции, выразил те же мысли, что В и к д'А з и р, с непревзойденной ясностью и точностью. Он повторил и углубил эти мысли

103 в других своих работах. Он говорил: «Жизнь представляет таким образом более или менее быстрый, более или менее сложный вихрь, направление которого постоянно и который всегда захватывает молекулы, обладающие определенными свойствами; но в него постоянно проникают и из него постоянно выбывают индивидуальные молекулы, так что форма живого тела для него существеннее, чем его вещество. Пока это движение существует, тело, в котором оно имеет место, живо, оно живет. Когда движение окончательно останавливается, — тело умирает». Одна из основных мыслей, здесь выраженных, — бóльшая важность формы живого тела, чем его вещества, — была в течение всего XIX столетия главной идеей биологии. Оставляли в стороне не только вещество, но также действие организма на окружающую среду, изучение движения молекул среды, существенно необходимых, по мнению К ю вье, для жизни.

В настоящее время происходит поворот к более широким

104 идеям. Так, например, Ф. Гуссе очень хорошо отметил схематизацию, полное несоответствие живого организма биолога с настоящим живым организмом, с природным телом. Реальный организм неразрывно связан с окружающей средой, и мы можем отделить его от нее только мысленно. Но эти новые идеи еще не проникли в господствующие учения биологии и представляют лишь отдельные попытки ученых. Общий вопрос о воздействии живых организмов, живого вещества на космическую среду, в которой они находятся, не останавливает в достаточной мере внимание биолога, не пробуждает его научную пытливость.

Грандиозные проявления живых организмов, находящиеся в очевидной связи с окружающей средой — их дыхание и их питание — изучены вне их влияния на окружающую среду, из кото-

рой организмы при их посредстве добывают химические элементы и их ей возвращают.

В архиве науки мы находим, однако, другие идеи, которые должны останавливать внимание и нашей эпохи. Эти идеи еще живы. Старинные ученые конца XVIII века взирали на природу с умом, менее ограниченными схемами и привычками мысли, чем их потомки. Раньше окончательного образования новой химии, господствовала идея единого космоса и связанное с ней искание единой силы, правящей миром. Эту силу думали видеть во всемирном ньютоновском тяготении. Во всех явлениях нашей повседневной жизни — в падении яблока с дерева — и в величайших проявлениях космоса — в движении небесных светил — во всей единой системе природы сознавалась одна и та же единая сила. Проявление ее искали всюду и часто этим путем приходили к открытию новых законов и к выяснению сложных и запутанных явлений, но в то же время всегда убеждались, что силы, при этом открываемые, отличны от всемирного тяготения. В XVIII веке, идя по этому пути, Кулон доказал, что сходны с тяготением законы притяжения и отталкивания наэлектризованных тел; однако, они одинаковы только по форме. Лаплас, исходя из притяжения, пришел к теории особых, отличных от тяготения, капиллярных сил. Попытки найти проявления всемирного тяготения в явлениях химии, в химическом сродстве, привели к открытию новых законов и плодотворных обобщений, не связанных с ньютоновским притяжением. В области биологии в 1782 г. Санкт-Петербургская Академия Наук предложила на конкурс вопрос, вытекавший из того же течения мыслей. Спрашивалось, не существует ли отношений между ньютоновским притяжением и силой, действующей в явлениях питания и дыхания живых существ. Какая сила дает возможность живым организмам извлекать из окружающей среды все вещество, нужное им для жизни и роста? Один из наиболее выдающихся членов нашей Академии, великий исследователь жизни, один из создателей эмбриологии, Каспар Вольф, которому принадлежит инициатива постановки этого вопроса, сам напечатал после конкурса мемуар, в котором доказал — то, что нам кажется очевидным, — что силы питания и дыхания совершенно иные, чем ньютоновское тяготение. Однако, то, что нас может интересовать в этом забытом эпизоде прошлого, это сам

вопрос по себе. Этот вопрос представляет по существу попытку научно обнять отражение в окружающей среде, в биосфере совокупности бесчисленных мельчайших явлений дыхания и питания живых существ. Питание и дыхание рассматриваются здесь не только как явления организма, но так же, как планетные явления.

К концу XVIII века и в начале XIX другой ученый, известный польский врач А. Снядецкий вернулся к тем же идеям. Он сравнивал ньютоновское тяготение с «притяжением» вещества, с питанием и дыханием живых существ; он выставил положение, что сила, вызывающая эти процессы организма, растет в своей интенсивности обратно-пропорционально массе организма, между тем, как ньютоновское притяжение вещества действует пропорционально массе. Мелкие живые существа, невидимые глазу, производят самые значительные эффекты. Это течение в биологических изысканиях вскоре совершенно замерло, но совокупность идей, его вызвавших, вновь теперь возникла в геохимии, ибо влияние живых существ в истории химических элементов земной коры вызвано главным образом их питанием и дыханием. В геохимии организмы проявляются и могут быть изучаемы только с точки зрения общего эффекта, производимого этими физиологическими явлениями, совокупность которых образует таким образом планетное явление.

Можно вполне оценить планетное значение этих явлений, в частности дыхания, обратив внимание на историю свободного кислорода в земной коре, одного из бесчисленных химических тел, вносимых живым веществом в биосферу.

4. История свободного кислорода.

Кислород в молекулах O_2 , как мы знаем, в форме газа и еще больше в водяных растворах играет совершенно исключительную роль во всех химических реакциях земной поверхности. Можно сказать, что он своим присутствием меняет весь их ход. Количество существующих молекул O_2 огромно. Мы можем определить его с достаточной точностью. В атмосфере— в тропосфере и в нижней стратосфере—вес свободного кислорода, молекул O_2 , соответствует минимально $1,2 \times 10^{15}$ метрических тонн (по Аррениусу), максимально— $2,1 \times 10^{15}$ ме-

трических тонн. Эта масса в сотни тысяч раз превышает общую массу отдельных многочисленных химических элементов земной коры.

Но атмосфера не содержит всего свободного кислорода. Очень значительная часть его находится в растворе в водах и прежде всего в той массе соленой воды, которая образует мировой океан. Все же эта часть меньше, чем вся масса свободного кислорода атмосферы и немногим превышает $1,5 \times 10^{13}$ метрических тонн. Свободный кислород также растворен в пресной воде суши, растворен или окклюдирован в снегах и льдах. Но это количество не больше, по сравнению с свободным кислородом гидросферы, так как весь объем пресной воды, по М. Гальбфассу, — составляет лишь $3,6 \times 10^{-1} \%$ объема соленой воды океана, даже включая сюда льды и снега, представляющие по весу своему господствующую часть воды суши. Так, по Гальбфассу, объем льдов соответствует $3,5 - 4 \times 10^6$ километров кубов, объем воды океана $1,3 \times 10^3$ куб. километров (Крюммель), объем воды озер, болот, рек и надземных вод $7,5 \times 10^5$ куб. километров максимально. Таким образом все количество свободного кислорода, даже считая кислород, включенный в осадочные породы, немногим превысит $1,5 \times 10^{15}$ метрических тонн, приблизительно составляет $1/10.000$ всего кислорода земной коры. Мы знаем, что свободный кислород существует лишь на поверхности земли; вода глубоких источников, как это доказал уже в конце XVIII века врач Пирсон в Англии, его не содержит. Газы вулканических метаморфических пород почти свободны от него.

Количество свободного кислорода в биосфере, несомненно, одна из наиболее точно определенных постоянных нашей планеты.

Оно определяет геохимическую работу живых организмов и позволяет понять ее значение в истории химических элементов.

Свободный кислород самый могущественный деятель из всех нам известных химических тел земной коры. Он изменяет—окисляет огромное количество химических соединений; он всегда находится в движении, все время вступает в соединения. Мы знаем тысячи химических реакций, которыми он захватывается, во время которых он входит в соединения. Среди них наиболее важны окисленные соединения металлоидов, таких

как сера и углерод (в том числе и соединения организмов), и соединения металлов — железа или марганца. История всех циклических элементов земной коры определяется их отношением к свободному кислороду. Недавние исследования указывают даже на его первостепенное влияние в вулканических явлениях. Кислород атмосферы, захваченный горячей лавой, дает окисленные продукты (напр., воды, окислы серы и пр.), и тепло, освобожденное этими реакциями окисления, играет огромную роль в термических эффектах лав. Высокая температура лав достигается на поверхности под влиянием этих реакций окисления; лава, поднимающаяся из недр коры и еще не соприкасающаяся с кислородом воздуха, имеет температуру на сотни градусов более низкую.

Несмотря на все значение, представляемое этими реакциями окисления для множества таких земных процессов, количество свободного кислорода планеты представляется неизменным или почти неизменным. Очевидно, должны существовать обратные процессы, должно идти освобождение свободного кислорода в окружающую среду взамен кислорода, постоянно удерживаемого в новых прочных соединениях. Мы знаем в биосфере одну единственную реакцию такого рода: это реакция биохимическая — выделение свободного кислорода хлорофильными пластидами земных организмов. Эта реакция открыта в конце XVIII века Пристлеем, углублена трудами выдающихся ученых, его современников, освещена во всем значении ее всеобщности, в ее главных чертах, женовским ученым Т. де Соссюр в начале прошлого века. Она остается до сих пор единственной. Эта реакция определяет планетное значение жизни так же, как она определяет основные черты химии поверхности нашей планеты.

Правда, мы знаем, что в глубинах земной коры кислород должен выделяться, так как соединения, богатые кислородом, например, сульфаты или тела, содержащие окись железа, образующиеся на поверхности, превращаются в глубоких слоях коры в соединения, более бедные кислородом или его несодержащие. Однако, этот свободный кислород должен немедленно вступать в соединения, — нигде мы не находим его проявления.

Если кислород подымается временами и местами из глубин земной коры или получается при разрушении изверженных пород, — количество такого кислорода ничтожно по срав-

нению с свободным кислородом, создаваемым земной растительностью.

История свободного кислорода в земной коре дает нам ¹²⁴ таким образом яркое мерило значения жизни для химии планеты.

5. Живое вещество.

Жизнь проявляется в земной коре иначе, чем в явлениях, изучаемых биологами.

Здесь выступают перед нами две новые черты ее строения.

Мы видим, во-первых, что жизнь действует здесь только энергией, количеством и составом свойственной ей материи и что, во-вторых, отдельные организмы, организмы как таковые, отстают перед величием изучаемых явлений. Мы замечаем в них лишь общий совокупный эффект.

Геохимические проявления жизни дают нам картину совершенно обратную той, которую рисуют себе биологи и которая ярко выражена в определении жизни Т. Кювье более ста лет тому назад. Форма организмов в миграциях элементов земной коры почти совершенно ступшевуется, но вещество организмов, движение его молекул, его энергия проявляются во всех наблюдаемых явлениях. Такое проявление жизни столь же реально, как реальны богатство и сложность морфологических и физиологических процессов, почти исключительно до сих пор изучавшихся биологом. Прилагая новую мерку изучения жизни, совершенно отличную от обычной, мы подходим к явлениям и перспективам, до сих пор невиданным. Сложный эффект мельчайших явлений, не обращавших до сих пор внимания в биологических науках, принимает неожиданные размеры. В геохимии жизнь выражается совместным действием миллионов отдельных организмов, их совокупностью. Мы в ней изучаем лишь статистические законы и обобщения, связанные с жизнью. И при этом мы останавливаемся лишь на некоторых определенных свойствах этих совокупностей.

Для того, чтобы иметь возможность изучать жизнь в геохимии, мы должны представить ее в таких же выражениях, с теми же логическими параметрами, как другие формы нахождения химических элементов, с которыми мы ее здесь сравниваем — минералы и горные породы, магмы, водные растворы, рассеяния. Другими словами, мы должны выразить

совокупность организмов исключительно с точки зрения их веса, их химического состава и их энергии.

Выражая совокупность живых организмов в этих параметрах, необходимо ввести новые понятия в явления жизни. Я буду называть живым веществом совокупность живых организмов, выраженную в весе, в химическом составе и в мерах энергии.

При таком ее выражении всецело сохраняются и получают точное определение все совокупности различных организмов — виды, подвиды, роды и т. п., которые установлены биологами на основании изучения их морфологии или физиологических функций.

Средний вес, химический состав, геохимическая энергия оказываются для них столь же различными, характерными и постоянными признаками, как и те, на основе которых биологи их подразделяли. Необходимо отличать в геохимии в связи с этим однородные живые существа, образованные из совокупностей организмов одного и того же вида, рода, расы, и разнородное живое вещество, элементы совокупностей которого — организмы — принадлежат к разным видам, расам и т. п.

Совокупность всех живых организмов нашей планеты образует Живую Природу. Она состоит из разнородного живого вещества, которое дифференцируется на поверхности континентов и островов, в соленых и в пресных водах, в более или менее ясно отграниченных друг от друга массах, образуемых как из однородных, так и из разнородных живых веществ. Живое вещество, выраженное в весе, в химических элементах и в энергии, может быть изучаемо в геохимии так же как горные породы и минералы и сравниваемо с ними в своих проявлениях. Тут, несомненно, существует полная аналогия. Однородное живое вещество соответствует минералам или простым горным породам. Разнородное же живое вещество можно рассматривать как образованное из совокупностей однородного живого вещества, оно соответствует горным породам.

Леса наших широт, поля злаков и других растений, части степей или полей, леса водорослей, устричные и другие мели, где господствует почти исключительно один определенный вид

организмов, движущиеся стада животных одной и той же породы представляют примеры однородного живого вещества. С другой стороны, большие тропические леса, стада животных разных пород, мощные скопления жизни больших рек, как Амазонка, Ориноко или Обь, бесконечно разнообразные биоценозы, флоры и фауны дают нам бесчисленные примеры скоплений разнородных животных веществ, являются как бы живыми горными породами.

Существует очевидное морфологическое различие между живым веществом и горными породами. Элементы живого вещества — организмы всегда более или менее свободны, раздельны, разбросаны, элементы же горных пород, минералы, почти всегда неразрывно между собой связаны. Правда, в песках или обломочных горных породах элементы целого разделены, но эти элементы лежат близко друг к другу, они соприкасаются.

В живом веществе эти элементы могут быть совершенно отделены друг от друга, рассеяны на больших пространствах и вместе с тем будут все же с геохимической точки зрения составлять одно единое тело, ибо вес, химический состав и энергия их совокупностей могут быть отличаемы как таковые в окружающей природе.

С этой точки зрения организмы изучены очень недостаточно. Но порядок наблюдаемых явлений, несомненно, один и тот же в живом веществе и в горных породах. Я вернусь позже к сравнению их элементарного химического состава, но совершенно очевидно и без специальных изысканий, что с химической точки зрения разные живые вещества не менее отличаются друг от друга, чем горные породы, что, например, различие между средним составом планктона из диатомей и живых коралловых построек или лесов известковых водорослей не менее велико, чем между мрамором и кварцитом.

То же самое относится и к массам, образованным из живого вещества; их можно сравнивать с массами горных пород поверхностных слоев земной коры. Мы часто забываем эти реальные факты, так как мы не привыкли смотреть на организмы как на неотъемлемую и неотделимую часть механизма земной коры. Поясню примером мою мысль. В конце прошлого века, в 1889 году, английский натуралист доктор Карутерс наблюдал на Красном море довольно обычное явление, повторяющееся в грандиозном размере каждый год — переселение саранчи

125

с берегов Северной Африки в Аравию. Он определил количество этих прямокрылых в одной из туч, проносившихся над ним в течение целого дня 25 ноября. Пространство, занятое такой тучей, равнялось 2304 кв. миль (5967,36 кв. километров); между тем это не была даже одна из самых больших туч, Карутерс наблюдал гораздо большие. Вес этой тучи отвечал $4,40 \times 10^7$ метр. тонн. Чтобы иметь представление об этом числе, можно его выразить иначе. Оно того же порядка, как все количество меди, цинка и свинца, изготовленных человеком в течение целого столетия ($4,47 \times 10^7$ метр. тонн). А между тем известные энтомологи, как Д. Шарп и Н. Я. Кузнецов, обсуждавшие результаты наблюдения Карутерса, не нашли в них ничего необыкновенного, даже принимая цифру $4,28 \times 10^{19}$ длинных тонн.

Эта туча саранчи, выраженная в химических элементах и в метрических тоннах, может считаться аналогичной горной породе или, вернее, движущейся горной породе, одаренной свободной энергией. Перед лицом разнообразия и необычайного величия Живой Природы туча саранчи незначительный и мимолетный факт. Существуют явления бесконечно более грандиозные и мощные. Постройки кораллов и известковых водорослей, непрерывные на тысячах квадратных километров пленки планктона океана, Саргассово море, тайга Западной Сибири или Гилея тропической Африки представляют такие примеры. Это все единичные факты среди множества других явлений такого же порядка. Подобные массы живой материи вполне могут быть приравнены многим горным породам. Конечно, не всем. Большие батолиты или огромные слои кристаллических сланцев образуют выделения в земной коре несравненно большие по весу, чем какие бы то ни было скопления живого вещества, большие даже, чем вся Живая Природа в целом, но эти огромные глыбы горных пород находятся вне области Живой Природы. В этой области, в биосфере, выделения горных пород и скопления живого вещества дают массы одного и того же порядка.

С первых шагов нашего геохимического изучения Живой Природы два явления огромной важности сразу привлекают наше внимание; они отличают ее от инертной природы. Прежде всего это ее необыкновенное разнообразие. Каждый вид животных и растений отвечает особому однородному живому веществу. В общем число описанных видов организмов много

превышает 700 000. В 1911 году М. ПРАТТ насчитывал для 129 животных 522 000 описанных видов, в 1918 г. М. КОНСТАНТЕН, исправляя указания П. ВАН ТИГЕМА, исчислял их до 130 175 300 для растений. Эти числа каждый год увеличиваются 131 на несколько тысяч; они далеки еще от окончательного подсчета. Одни насекомые дадут миллионы различных видов. Повидимому, вероятно, что в природе в настоящий момент существуют несколько миллионов различных однородных живых веществ, из которых нам известна только часть. В ней же содержатся миллионы миллионов различных молекулярных структур, различных химических соединений, еще менее нам известных. От этой живой материи земной коры с ее поразительным разнообразием резко отличается косная материя. Нам неизвестно в ней и 2500 видов минералов, и это количество увеличивается ежегодно лишь на какие-нибудь десятки видов.

Мы стоим перед явлением огромного значения, бросающимся в глаза и чрезвычайно ярко выраженным.

Оно доказывает огромное химическое отличие живого от косного вещества в их проявлении в химическом механизме коры. В косном веществе лишь исключительные явления, как, например, лавы или газы вулканов, могут по своей изменчивости быть сравнимы с разнородным живым веществом. Горные породы химически инертны, с ним не сравнимы.

Эта химическая сложность и изменчивость являются ярким выражением химической активности живого вещества. Всякое живое вещество, даже однородное, представляет совокупность интенсивных молекулярных вихрей, по счастливому выражению Г. КЮВЬЕ. Всякий организм совокупности (т.-е. живого вещества) постоянно захватывает прямо или косвенно лучистую энергию солнца и превращает ее в свободную, т.-е. способную производить рабочую химическую энергию. Значительная часть лучистой энергии солнца, достигающей земной поверхности, таким образом захватывается и превращается в новую форму. Геохимические последствия такого строения земной поверхности грандиозны.

132

Эти последствия приобретают еще большее значение благодаря совершенно особому распределению этого вещества, находящегося в активном состоянии на поверхности нашей планеты, распределению, как мы увидим, давно известному, но значение

*

которого нами часто не понимается. Живое вещество более или менее непрерывно распределено на земной поверхности, оно образует на ней тонкий, но сплошной покров, в котором концентрирована свободная химическая энергия, выработанная им из энергии солнца. Этот слой есть земная оболочка, которую замечательный австрийский геолог Э. Зюсс больше 50 лет тому назад назвал биосферой и которая представляет одну из самых характерных черт механизма нашей планеты.

Только в ней сосредоточена та особая форма нахождения химических элементов, которую мы называли живым веществом.

6. Материя в состоянии рассеяния.

Все другие формы нахождения: минералы и горные породы, магмы, рассеяния также характеризуют особые земные оболочки.

Я здесь остановлюсь еще раз на рассеянии химических элементов, так как это — форма их нахождения, на которую обыкновенно не обращают внимания.

Рассеяние химических элементов, хотя и давно было известно, но значение его недостаточно оценено учеными и до сих пор. Его изучение почти девственная область науки, и очень вероятно, что в близком будущем наши идеи об этой форме нахождения атомов совершенно изменятся.

133 Характерной для нее оболочкой являются высокие слои земной газовой оболочки — стратосфера и над ней находящиеся слои «свободной атмосферы» — область свободных атомов, ионов, электронов. Эти слои разреженной материи — лучистой
134 материи В. Крукса (1879) — являются источниками энергии, проявления которой с каждым годом представляются нам все значительнее. В прошлом веке несколько глубоких мыслителей, в числе коих великий русский химик Д. И. Менделеев, ожидали от изучения этих верхних слоев свободной атмосферы — «лаборатории погоды» — объяснения многих загадок в явлениях нашей планеты. Успехи науки, повидимому, подтверждают их интуицию.

Подобно биосфере это — область энергии особого рода, влияние которой сказывается как в вышележащем космическом пространстве, так и на нашей планете, в ее других нижних обо-

лочках. В них мы видим ее своеобразные проявления в нахождении элементов рассеяния.

В каком состоянии находятся все эти элементы? Следы 30 до 32 элементов, обнаруживаемые нами в каждой соленой капле воды океана. 30 химических элементов, по меньшей мере, находящихся в каждой частице белого каррарского мрамора, который нам кажется химически чистым.

135

В каком виде находятся «следы» — атомы — Bi, Mn, Cu, Zn, которые могут быть констатированы посредством явлений люминисценции, как это доказали Ленард и Клатт, в каждом сернистом кальции, приготовленном из кальция любых минералов и всех горных пород, содержавших известь, даже если б эта известь, химически исследованная, представлялась чистой? И газы атмосферы, когда, например, почти каждый кубический сантиметр воздуха, нас окружающего, содержит атом эманации радия, неуклонно превращающийся в еще более мелкие частицы? Каково их состояние?

136

137

Мы почти ничего об этом не знаем. И, однако, с давних пор подобные факты скопляются и, даже оставляя в стороне явления верхних слоев атмосферы, явления загадочные, волнующие наше воображение, их значение нам кажется огромным, как мы это увидим ниже в изложении истории радиоактивных элементов. В конце XVIII в. в Париже Г. Руэлль и Ж. Д'Арсе старший доказали рассеяние золота, предвиденное более старинными химиками, как, например, шведом У. Иерне, «последним скальдом», в конце XVII и начале XVIII веков. Эта идея зародилась под влиянием изысканий алхимиков. Дэви в начале XIX в. указал на общее рассеяние натрия. Замеченное, но не понятое Гальботом, оно было окончательно установлено, так же как рассеяние лития и кальция, в 1859 г. в результате знаменитых изысканий Г. Кирхгофа и Р. Бунзена. Во многих случаях такое рассеяние, несомненно, могло бы быть объяснено присутствием примесей чисто механических. Но масштаб явления заставляет нас признать существование незаметного перехода между механической пылью, содержащей натрий, и его атомным рассеянием. Форхгаммер в середине прошлого века отметил то же явление для химических элементов морской воды.

138

139

140, 141

142

143

144

После крупных открытий XIX столетия — спектроскопии, светящихся «фосфоров», ионов разреженных газов и особенно

явлений радиоактивности, рассеяние элементов получило в нашем веке совершенно неожиданное значение, не только явилось обычным явлением, но должно считаться характерным свойством вещества нашей планеты.

Невозможно оставлять его без внимания в геохимии, даже если мы до сих пор не можем дать точного объяснения этих явлений. Мы знаем, что они действительно существуют, и, хотя их возможно наблюдать на всем пространстве земной коры, есть одна оболочка, где они господствуют — высокая атмосфера.

Повидимому, мы имеем здесь дело с проявлениями свободных движущихся атомов, не соединенных в молекулы, заряды которых меняются и которые иногда (или всегда) находятся в стадиях изменения (в некоторых случаях явного распада). Энергия элементов в состоянии рассеяния есть энергия атомная.

ОЧЕРК ТРЕТИИ.

ИСТОРИЯ МАРГАНЦА.

1. Оболочки земной коры.

Мы видели, что в земной коре можно различить оболочки — более или менее правильные концентрические слои, отличающиеся друг от друга характерными для каждого, особыми физическими, химическими и биологическими свойствами. Можно представить себе земную кору, как совокупность таких концентрических оболочек.

Изучение этих оболочек имеет очень важное значение в геохимии, ибо можно свести историю всех химических элементов в земной коре к их передвижению, к их миграции — из одной оболочки в другую и обратно — к миграции закономерной, непрерывно возобновляемой.

Некоторые из этих оболочек, как, например, атмосфера, известны испокон веков. К концу XVIII в., после великих океанических путешествий, французский гидрограф Кларэ, граф де Флерье, признал единым «Всемирным Океаном» совокупность всех известных океанов и морей. Это сущность нашего представления о гидросфере. Идея не появилась у него внезапно, готовой. Она создавалась исподволь. Единый океан существовал в представлениях древне-греческой науки. Ясные указания на такие представления мы найдем у ученых XVI века, когда размеры и форма земли были в общих чертах впервые установлены.

Но в общей форме представление о земных оболочках есть достижение нашего времени.

В 1875 году Э. Зюсс подчеркнул содержащееся в понятии о Всемирном Океане Кларэ де Флерье представление

о нем, как о жидкой земной оболочке, и назвал ее гидросферой.

В то же время он назвал литосферой твердую часть земной коры и ввел представление о биосфере — области земной коры, охваченной жизнью.

Можно рассматривать эти оболочки как поля различных равновесий, физических или химических, существующих в земной коре. Тот факт, что поля эти образуют концентрические оболочки, иногда правильно ограниченные сферическими поверхностями (обычно, впрочем, поверхности ограничения очень сложны), есть факт наблюдения. Он устанавливает одну из характернейших черт строения земной коры, объяснения которой мы до сих пор не имеем.

В основу наших суждений можно принять термодинамические оболочки — термодинамические поля земной коры — приняв за их параметры температуру и давление, а за переменные — химический состав и фазу вещества.

148 В. Гиввс дал в мастерском синтезе теорию таких равновесий, которую мы можем положить в основу нашего рассмотрения природных явлений.

Но эти явления более сложны и не могут уложиться в рамки этой теории без значительных ее изменений.

Не говоря уже о том, что в геохимии неизбежно одно из переменных — химическое соединение — должно быть заменено химическим элементом, число переменных в природных явлениях больше, чем число их, принятое теорией.

Земная оболочка, биосфера, с геохимической точки зрения совершенно подобная другим оболочкам, в которых приняты во внимание переменные Гиббса, обусловлена в своем существовании новыми неизвестными в теории переменными.

В биосфере такой переменной является живое вещество. Но как мы видели, живое вещество является одной из форм нахождения химических элементов. Можно говорить о формах нахождения элементов, как об особых переменных величинах земных динамических равновесий.

Формы нахождения — магмы, рассеяния, молекулы и кристаллы (минералы), живые вещества не могут быть сведены ни к фазам, ни к химическому элементарному составу вещества, а между тем они характеризуют особые земные оболочки.

Такие оболочки (как, например, биосфера) установлены как особые системы динамических равновесий таким огромным количеством эмпирических фактов, что они ни в коем случае не могут быть оставлены без внимания.

Только введя их в наши представления, можно научно изучать природные химические явления.

Принимая формы нахождения элементов за переменные природных динамических равновесий, я не делаю никаких гипотез, но только основываюсь на научном эмпирическом наблюдении.

Оболочки, ими определяемые, я буду называть парагенетическими оболочками.

149

Несомненно, то же самое концентрическое распределение — в форме оболочек — систем природных динамических равновесий — выявляется и для некоторых других переменных, например, для проявления лучистой энергии. Можно выделить на этом основании лучистые оболочки. Такова, например, область высокой атмосферы, характеризующаяся присутствием коротких ультрафиолетовых волн, отсутствующих в других частях планеты (ультрафиолетовая оболочка).

150

Мы пока оставляем в стороне явления электромагнитных земных полей, изучаемые геофизикой. Их геохимическое значение, вероятно, большое, до сих пор нами не улавливается.

Состояние наших современных знаний может быть представлено таблицей VIII (стр. 58 — 59).

Это схема совершенно эмпирическая; она выражает наблюдаемые факты без всяких теоретических соображений. Она имеет все достоинства и все недостатки подобных схем. Ее недостаток заключается в ее преходящем значении. Она может сильно измениться с успехами наших знаний. Ее главное достоинство в том, что она заключает в себе только наблюдаемые факты; недочеты и сомнения происходят от недостаточного количества этих последних. Эта недостаточность питает гипотезы, закрадывающиеся в эту схему более или менее бессознательно. Вследствие этого она может быть представлена различным образом, в зависимости от личных взглядов, от значения, придаваемого одним и тем же наблюдаемым фактам, слишком малочисленным, чтобы на них строить прочные обобщения, для всех обязательные. Так, в схеме таблицы VIII есть слабые места; более сомнительные обобщения отмечены вопросительным знаком.

Т А Б Л И Ц А VIII.
О Б О Л О Ч К И З Е М Н О Й К О Р Ы.

I. Термодинамические оболочки.	II. Фазовые оболочки.	III. Химические оболочки.	IV. Парагенетические оболочки.	V. Лучистые оболочки.
<p>1. Верхняя оболочка. Ничтожное давление, низкая температура 15 — 600 километров (может быть, область от 100 до 600 километров представляет другую оболочку).</p> <p>2. Поверхностная оболочка. Давление, близкое к одной атмосфере. Температура + 50° до — 50°.</p>	<p>1. Свободная атмосфера. (Верхняя стратосфера.) Разреженные газы. Твердая пыль. Ионы. Электроны — выше 80 — 100 километров.</p> <p>2. Стратосфера. Разреженные газы (молекулы). Книзу незаметный переход в тропосферу, кверху в свободную атмосферу. Выше 10—15 километров.</p> <p>3. Тропосфера. Обычный газ 0—10—15 километров.</p> <p>4. Жидкая оболочка— гидросфера. От 0 до — 3,7 километров.</p>	<p>1. Водородная? Может быть выше 200 километров рассеянный азот.</p> <p>2. Гелиевая? 110 — 220 километров.</p> <p>3. Азотная. Выше 70 километров.</p> <p>4. Азотнокислородная. (Обычный воздух.)</p> <p>5. Водяная гидросфера. От 0 до — 3,7 километров.</p>	<p>1. Атомная оболочка. Область рассеянных элементов. Свободные атомы являются устойчивой формой.</p> <p>2. Газовая из молекул и атомов?</p> <p>3. Биосфера. Область жизни и коллоидов.</p>	<p>1. Электронная?</p> <p>2. Ультрафиолетовая. Радиации коротких волн и проникающие излучения.</p> <p>Радиоактивные эманыции.</p> <p>3. Световая. Радиации обычного видимого и теплового спектра. Радиоактивные эманыции.</p>
<p>3. Верхняя метаморфическая оболочка. (Область цементации.) Температура не достигает критической температуры воды. Давление не нарушает резко свойств твердого тела.</p> <p>4. Нижняя метаморфическая оболочка. (Область анаморфизма.) Температура выше критической точки воды.</p> <p>6. Магмосфера? На глубине, превышающей 16 — 20 километров.</p>	<p>5. Литосфера (твердая оболочка) характеризуется кристаллическим состоянием вещества.</p> <p>а) Верхняя литосфера Устойчивые коллоиды.</p> <p>б) Нижняя литосфера Кристаллическая.</p> <p>в) Стекловатая литосфера. Твердое кристаллическое состояние отсутствует. Стекло, проникнутое газами. Книзу переходит в полужидкое, водное состояние, переполненное газами.</p>	<p>6. Кора выветривания. Характерен свободный кислород, вода и углекислота.</p> <p>7. Осадочная оболочка. Изменение древней коры выветривания. До 5 километров и больше глубины.</p> <p>8. Гранитная оболочка. (Пара и ортогейсы.) Книзу переходит в стекловатые или вязкие массы.</p> <p>9. Базальтовая, а может быть ниже дунитовая?</p>	<p>4. Область молекул и кристаллов.</p> <p>5. Магматическая. Диссоциация; переполненная газами.</p>	<p>4. Термическая и радиоактивная. Книзу радиоактивные излучения постепенно сходят на-нет.</p> <p>5. Тепловые радиации без радиоактивных?</p>

Изучая земные оболочки, мы изучаем одно и то же явление: изменение систем динамических равновесий по мере нашего движения внутрь планеты в пределах земной коры. Мы видим при этом, что какую бы переменную этих равновесий мы ни приняли во внимание, мы приходим к одной и той же картине этих систем динамических равновесий,— к сменяющим друг друга концентрическим оболочкам.

Такие концентрические оболочки указывают, что характер систем полей — динамических равновесий — меняется одинаковым образом сразу на огромных пространствах планеты; оболочки, определяемые любой переменной, или являются сплошными (т.-е. облекают всю планету, как наша атмосфера) или почти сплошными, т.-е. облекают большую часть планеты (как наш океан — гидросфера).

Поверхности, отделяющие две соприкасающиеся оболочки, обычно не являются сферическими или близкими к сферической; они образуются в результате сложных геологических причин и меняются, как и сами оболочки в геологическое время. Их форма очень часто неправильная, как, например, хорошо знакомый нам рельеф континентов, образующий основание атмосферы, или рельеф дна океана, являющийся нижней границей гидросферы.

Осадочная оболочка (III, 7) имеет разную толщину и не является сплошной. Так, в Северной Америке она едва занимает треть поверхности; остальная покрыта вулканическими и кристаллическими породами. Толщина осадочных пород не превышает одного километра на половине этого континента, но самые толстые слои покрывают лишь одну восьмую его поверхности. Ту же картину эта оболочка дает для других континентов и, вероятно, на дне океанов и морей.

Форма этой оболочки на всей планете представляется в виде отдельных, не связанных кусков разной толщины; в иных местах она отсутствует, и гидросфера или тропосфера непосредственно соприкасается с метаморфической оболочкой. Ее образование тесно связано с былыми распределениями океанов, с явлениями метаморфизма и с тектоническими движениями земной коры.

Она создается в результате длительных геологических процессов, меняется во времени и составлена из участков разного химического состава (например, песчаников и известняков),

но в общем ее химический состав резко отличен от коры выветривания или от метаморфической оболочки. В строении земной коры она всегда существует как особая химически определенная область,— оболочка, которая может в некоторые геологические периоды являться сплошной.

Не меньшую сложность, в сущности, ту же картину при более внимательном изучении дадут все другие оболочки. Всегда можно уловить в их разнообразии те основные независимые переменные, присутствие которых различным, основным образом определяет отвечающие данной оболочке поля динамических равновесий.

Прежде, чем идти дальше, надо сказать несколько слов о том названии «земная кора», которое мы здесь употребляем. Оно не имеет никакого отношения к старым идеям, освященным привычкой, космогоническими или геогеническими представлениями истории нашей планеты. Начиная с XVII и особенно с конца XVIII века, поверхностную земную кору считали остатком коры первого затвердения жидкой расплавленной массы нашей планеты, в каком состоянии будто бы планета существовала в древние периоды, совершенно гипотетические, своего бытия. Эти ходячие, но неверные идеи ничего не имеют общего с реальной земной корой, изучаемой нами в геохимии. Легко убедиться, что земная кора нигде не проявляет признаков существования первичной, гипотетической коры. Она с ней имеет общего одно только имя.

Земная кора для нас есть верхняя область нашей планеты, чрезвычайно сложная по своему строению и по своему происхождению. Снизу она ограничена изостатической поверхностью (стр. 84), обладает мощностью в 60—100 килом.

Ее происхождение нам неясно. Повидимому, она в своей основе сильно переработана постоянно в нее проникающими космическими излучениями. Она представляет не случайную группу явлений, но совершенно закономерное явление в истории планеты, своеобразный планетный механизм.

Рассмотрение ее строения и ее свойств— область геологии; оно выходит за пределы этой книги.

Мне необходимо остановиться только на некоторых чертах этого механизма, имеющих значение для дальнейшего изложения.

С этой точки зрения наиболее важны следующие свойства составляющих его оболочек:

1) Химические элементы находятся в них в устойчивых динамических равновесиях, различных для каждой земной оболочки.

2) Они переходят в течение геологического времени из одной оболочки в другую.

3) Состояние элементов — отвечающие им равновесия — изменяются, когда химические элементы переходят из одной оболочки в другую. Это изменение происходит медленно или внезапно, но оно всегда одинаково, идет всегда в одну и ту же сторону и постоянно возобновляется, если наблюдать процесс в течение достаточного времени.

Мы видели, что история большинства химических элементов в земной коре — всех циклических, части массы рассеянных и сильно радиоактивных элементов, вероятно, элементов редких земель, — характеризуется замкнутыми круговыми процессами. Эти круговые процессы соответствуют изменениям равновесия химических элементов в различных земных оболочках в течение достаточно продолжительного геологического времени. Они соответствуют по крайней мере 99,8% всего вещества земной коры. Лишь небольшие доли весовых процентов атомов не охвачены круговыми циклами, но эти небольшие доли играют совершенно исключительную по значению роль в механизме земной коры.

Мы положим в основу нашего исследования термодинамические оболочки, так как параметры, их образующие, — температура и давление — всегда существуют во всех других оболочках. Таким образом, все другие оболочки распределены в рамках термодинамических оболочек.

Три из этих термодинамических оболочек (1,2—5) лучше всего изучены и наиболее важны. В геохимии необходимо различать минералы и вообще тела и процессы, связанные с этими тремя термодинамическими оболочками.

Я буду пользоваться для их различения понятиями, введенными в геологию Э. Зюссом, который следовал по пути, предложенному чешским ученым Ф. Пошепным.

Мы будем называть вадозными элементы и минералы (образовавшиеся и стойкие) поверхностной термодинамической оболочки (1,2), элементы и минералы третьей оболочки будут называться фреатическими, четвертой — ювенильными.

Подчас бывает трудно отличить фреатические и ювенильные элементы и минералы друг от друга, но в большинстве случаев

это возможно. Вместе с тем удобно отличать: 1) круговые процессы, соответствующие нескольким термодинамическим оболочкам, и 2) те же процессы, происходящие в пределах одной термодинамической оболочки. Очевидно, что первые отвечают более глубоким и важным явлениям, чем процессы, сосредоточенные в пределах одной термодинамической оболочки.

Первые мы будем называть первичными и круговыми процессами, а вторые — вторичными.

2. Геохимическая история марганца.

Эти совсем простые понятия позволяют уже приступить к изучению множества геохимических проблем. В моем изложении я остановлюсь на истории одного обычного металла — марганца, двух важнейших элементов — кремния и углерода и на истории сильно радиоактивных тел — урана и тория, роль которых в геохимии не меньшая.

Марганец образует около 0,1% земной коры и, вероятно, его количество значительнее, ибо все новые самостоятельные его определения дают все большие и большие числа. Марганец дает минералы, он находится в состоянии рассеяния, он входит во все живые организмы. Соединения, наиболее богатые марганцем, содержат до 77% металла (манганит MnO). Вместе с тем он находится в состоянии чрезвычайного рассеяния в наиболее чистых соединениях кальция; в этих телах он выявляется иногда только самыми чувствительными нашими приемами исследования — светящимися «фосфорами». Рассеяние превышает 10^{-5} % веса кальция. Марганец присутствует в каждом организме, в каждом микробе в количестве, совершенно неуловимом и, вместе с тем он на земной поверхности дает скопления в миллион тонн.

Его история в каждой из термодинамических оболочек совершенно разная.

В глубоких слоях коры минералы, богатые марганцем, редки. В них заключены сравнительно незначительные количества его атомов.

В массивных породах эти марганцевые минералы находятся в очень определенных условиях, в пегматитах кислых пород, в некоторых жильных породах, в магматических сегрегациях. В таких случаях породы содержат процент марганца, доходящий

156 до нескольких единиц. Этим путем могут даже образовываться скопления руд марганца в форме марганцовых солей ниобовой, танталовой, вольфрамовой кислот. Относящиеся сюда минералы, как вольфрамит, гюбнерит, колумбит, танталит играют большую роль в истории вольфрама, ниоба и, м.-б., тантала. Большая часть атомов вольфрама и, м.-б., ниоба этим путем
157 связана с марганцом. Встречаются иногда соли марганца почти чистые, как некоторые гюбнериты, $MnWO_4$. Эти танталаты, ниобаты и вольфрамиты очень стойки на земной поверхности; они, повидимому, изменяются лишь благодаря особым метаморфическим процессам, неподвижны в биосфере.

Аналогичны концентрации некоторых других марганцовых минералов того же происхождения — фосфатов, титанатов, алюмосиликатов (например, марганцовые гранаты), шпинелей, титаносиликатов (астрофиллиты) и даже манганитов.
158

Очень возможно, что во многих случаях это не ювенильные, но фреатические минералы, образованные путем метаморфизации других тел; часто это контактовые минералы.

Марганец дает ювенильные минералы в эманациях вулканов (например, $MnCl_2$ — скаккит). Однако, массы, ими образуемые,
159 ничтожны.

Нет ни одного марганцового минерала, входящего в состав самих изверженных пород, ни вулканических ни плутонических.

Большая часть ювенильного марганца сосредоточилась в них в виде многочисленных изоморфных подмесей, главным образом в силикатах, алюмосиликатах, алюмоборосиликатах, феррисиликатах, ферритах, алюминатах, фосфатах, титанатах и сложных титаносиликатах.

Большая часть марганца, как то давно указал Ш. Сент-Клер-Девиль, связана с кремнием, а не с алюминием,
160 встречается в мета- и ортосиликатах. Однако, в меньшем количестве он встречается в шпинелях и в некоторых алюмосиликатах, как-то: в слюдах, в турмалинах и полевых шпатах. В породах марганец связан с железом. Отношение $Mn:Fe$ изменчиво в кислых и в основных породах:

Основные породы	1 Mn на 100 Fe
Кислые »	1 Mn » 30 Fe

161 Есть кислые породы гораздо более богатые марганцом, в которых отношение $Mn:Fe$ колеблется между 5 и 20.

Во всех ювенильных минералах марганца мы видим лишь двухвалентные его соединения. Двоокись MnO_2 никогда в них не встречается. Трехвалентный марганец (Mn_2O_3), вероятно, наблюдается в некоторых гранатах (альмандины); в этой форме он, повидимому, относительно редок.

Таким образом, самая стойкая и характерная форма марганца в ювенильных минералах — это твердый изоморфный раствор его соединений в двухвалентном его состоянии. Можно быть уверенным, что чистое соединение марганца будет вообще нестойким в этой земной оболочке (четвертая термодинамическая оболочка VIII таблицы), и если оно случайно в ней встретится, то неизбежно подвергнется новым молекулярным перегруппировкам, перейдет в новые соединения, менее богатые марганцем.

Марганец находится в каждой изверженной породе в количествах, обыкновенно не превышающих, по мнению Г. Вашингтона, — 0,23%. Его среднее количество для всех таких пород — 0,124% Mn; оно колеблется в различных областях земного шара, так, для Европы оно будет 0,061% для Северо-Американских Соединенных Штатов — 0,076.

Существуют породы с большей его концентрацией. Согласно Г. Вашингтону и Ф. Кларку, самая большая концентрация наблюдалась в измененных изверженных породах Багии. Они содержат до 1,90% Mn. Очевидно, однако, что эта цифра может быть лишь временной, предварительной. Едва ли она значительно изменится и много превысит 2%.

Очевидно, что минералы изверженных пород (изоморфные смеси, богатые марганцем), должны давать большие концентрации его атомов, чем сама содержащая их порода. К сожалению, анализы их очень малочисленны. Повидимому, существуют два резко отличных случая: 1°-изоморфные смеси бедные марганцем — несколько десятых процентов по весу; это общий случай; и 2°-изоморфные смеси, богатые марганцем, содержащие больше 1% металла. Следовало бы рассматривать эти последние минералы, как марганцовые подвиды, например, марганцовая роговая обманка, бланфордит (пироксен) и т. д. Такие разновидности порообразующих марганцовых минералов, вероятно, гораздо более обычны, чем думают.

Минерал массивных пород, наиболее богатый марганцем, — астрофиллит, сложный титаносиликат, содержащий до 9% Mn

(3,48—12,68% MnO). Вообще астрофиллит встречается в пегматитовых жилах или в магматических сегрегациях, однако, он
167 иногда входит и в состав самих нефелиновых сиенитов.

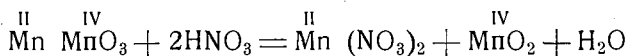
Вадозные минералы марганца представляют совершенно иную картину. Соединения, богатые марганцем, не только существуют, но они представляют самые стойкие формы его нахождения в поверхностной земной оболочке (1, 2). Нам известно много десятков таких минералов. Наиболее распространенный и самый стойкий — двуокись марганца — MnO_2 — пиролюзит (полианит).

Все вадозные или другие соединения, содержащие марганец, превращаются в коре выветривания (III, б) в пиролюзит, в почти чистый MnO_2 , — вне водной среды или среды, богатой живыми организмами и продуктами их разрушения. В обратных случаях пиролюзит не стоек, он заменяется гидратными телами, богатыми марганцем, очень различными, чаще всего содержащими большое количество железа. Самые распространенные из этих тел — вады и псиломеланы. Вады и псиломеланы не простые гидраты, это всегда (для вадов) коллоидальные или аморфные соединения, для псиломеланов часто кристаллические, химически очень разнообразные в зависимости от физико-географических условий их нахождения и образования.

Марганец — химический элемент, окислы которого имеют очень различные химические свойства. Повидимому, существуют в природе лишь три формы окисления марганца — MnO , Mn_2O_3 , MnO_2 . Соединения этих окислов характеризуются в чистом состоянии очень разнообразными окрасками. Соли MnO — розовые, сложные комплексы, заключающие Mn_2O_3 — желтые, быть-может, коричнево-красноватые, соли MnO_2 — коричнево-черные. MnO при условиях земных оболочек всегда представляет основание, подобное FeO , ZnO , MgO ; соединения этих оснований изоморфны, имеют аналогичные химические формулы и очень близкие кристаллические сетки. Они дают твердые кристаллические растворы, изоморфные смеси. Окислы Mn_2O_3 и MnO_2 наоборот ангидриды; они дают с другими окислами иные типы соединений: 1) соли или 2) сложные ангидриды, способные образовывать сложные соли. Так, MnO_2 может давать соли, например, $BaMnO_3$, соль кислоты $MnO(OH)_2$. Он может давать сложные ангидриды, например, $Fe_2O_3 \cdot MnO_2$, т.-е. Fe_2MnO_5 ,

марганцовые соли которого неопределенной формулы находятся в вадах и в псиломеланах.

В силу этого история марганца в земной коре кажется запутанной; в том же минерале атомы марганца отличаются разной валентностью и очень различными химическими свойствами. Так, очень распространенный фреатический минерал, дающий иногда большие скопления руды марганца, — браунит имеет формулу, соответствующую Mn_2O_3 . Однако, это не окисел Mn_2O_3 , о котором мы говорили. Это марганцовая соль кислоты H_2MnO_3 , ангидрид которой MnO_2 . Его формула $Mn^{II} Mn^{IV}O_3$. Действие на нее азотной кислоты ярко обнаруживает такое ее химическое строение; образуется черный осадок MnO_2 и розовый раствор $Mn(NO_3)_2$



Другой фреатический минерал — гауссманнит — Mn_3O_4 отвечает марганцовой соли другой кислоты, ортомарганцовой кислоты H_4MnO_4 ; его формула $Mn^{II} Mn^{IV}_2O_4$. Эти содержащие марганец кислоты аналогичны кремневым кислотам, и в браунитах мы всегда имеем изоморфные подмеси Mn , MnO_3 , $MnSiO_3$, а также $FeSiO_3$.

Вады и псиломеланы переходят друг в друга. В природных водах псиломеланы постепенно, но всегда дают начало вадам. Мы будем считать, что вады суть самая устойчивая форма вадозных минералов марганца в сырых местностях, так же как пиролюзит — в местностях, бедных водой.

Вады очень сложные смеси гидратов различных кислот марганцовых, марганцово-марганцовистых и железо-марганцовистых. Многие вады содержат гидраты кислых солей тех же кислот — железные, марганцовые, кальциевые, бариевые и т. д. Они поглощают различные посторонние тела, соединения P, Si, Cu, Ba, Co, K, Li и т. д. Их состав очень изменчив в зависимости от физико-географических и биологических условий среды их образования и нахождения. Марганец в форме вадов очень часто находится в связи с железом. Железо входит в состав вадов, и вместе с тем оно химически выделено в форме гидратов окиси железа (лимониты, гетиты и т. д.). Эти гидраты часто встречаются в механической смеси с вадами. Очень характерно,

что изоморфные смеси железных и марганцовых тел как в вадах, так и в гидратах окиси железа (часто содержащих марганец), не дают непрерывных рядов. Известны лишь вады, бедные железом, и водные окиси железа, бедные марганцем. Промежуточные члены ряда, повидимому, всегда отсутствуют. Даже в механических смесях вадов, содержащих железо, и лимонитов, содержащих марганец, часто наблюдается то же преобладание одного из этих соединений.

Вады, богатые марганцем, и лимониты, бедные им, образуются в различных условиях, например, в различных озерах. Когда условия их нахождения меняются, лимониты и вады переходят друг в друга. Таким образом наблюдается следующее равновесие:

Лимониты, содержащие марганец \rightleftharpoons вады, содержащие железо.

В коре выветривания, в биосфере, оба металла дают наиболее окисленные формы своих соединений; железо всегда дает гидраты окислов, марганец в областях, менее богатых водой, в конце концов дает двуокись, ангидрид. Свойства их соединений делаются очень различными, и марганец отделяется от железа.

В настоящую эпоху вады образуются большими массами в различных местах на дне Всемирного Океана и соседних морей. Конкреции вада, неизменно содержащего железо в количестве миллиона тонн, отлагаются на дне Индийского, Атлантического, Тихого, Антарктического океанов. Они собираются местами здесь на дне с большими или меньшими перерывами на пространствах в десятки тысяч квадратных километров; часто, но не всегда, например, в Тихом Океане они встречаются в наиболее глубоких местах, в отложениях, богатых вулканическими продуктами. Вады образуют большие конкреции, мелкие желваки, натеки и тонкие слои на раковинах, костях, кусках пород. Эти конкреции содержат до 40% марганца. Глубокие океанические грязи «Red Clay» — красный ил экспедиции Чалленжера богаты марганцем; в среднем, для Тихого Океана, они содержат до $7,6 \times 10^{-1}$ Мп.

Вады образуются не только в глубоких частях океана, но их также находят в неглубоких водовместилищах, на дне морей. Они здесь, повидимому, содержат больше железа, иногда даже железо преобладает. Их размеры как-будто меньше. Их находят

в Черном море, в больших количествах в северных морях — в морях Баренцовом, Карском, в Балтийском. Очень возможно, что это мало изученное явление более обыкновенно, чем это указывают отмеченные находки. 173, 174

Оно свойственно не одним соленым водовместилищам.

Подобные образования, иногда другой формы, отлагаются в тысячах пресноводных озер и болот, связанных с историей древних ледников ледниковой эпохи северных стран — в Шотландии, в Скандинавии, в Финляндии, на С.-В. России, в Канаде. Вады образуются в настоящее время или были образованы в недавнем прошлом, в историческое время. Этим путем собираются ежегодно сотни тысяч тонн марганца, м.-б., больше. Эти образования богаты железом; иногда количество марганца не превышает 9,7% в целых областях, как, например, в Финляндии. Но вообще существуют конкреции, более богатые марганцем, содержащие 20% и даже 50% Мп (согласно Фохту). В этих озерных железо-марганцевых рудах наблюдается вековой медленный процесс обогащения марганцем — лимониты, содержащие марганец, превращаются в вады, содержащие железо. 175, 176, 177, 178, 179, 180

То же явление имеет место в осадках и отложениях озер и рек наших широт, в детрите дна болот, в стоячих водах долин больших рек. Иногда, как в бассейне Амазонки, в областях, ежегодно потопляемых ее разливами, постоянно образуются отложения вадов и псиломеланов. Они скопляются с течением времени, образуя месторождения марганца. 181

Марганец выделяется всюду в связи с источниками и метеорными водами.

В почвах и подпочвах местностей, богатых водой, в почвах северных тундр, в черноземах Украины, России и Румынии, в болотных почвах наших стран, в латеритовых почвах подтропических стран постоянно находятся миллионы миллионов конкреций вадов, псиломеланов, пиролюзита в состоянии образования. Обычно это невидные, мелкие, землистые выделения; ими, по видимому, надо объяснять концентрацию марганца в некоторых почвах. В то время как в массивных горных породах, как мы видели, количество марганца доходит только до 2%, есть почвы, где его концентрация достигает до 7,0% Мп; таковы черные «вулканические» почвы Гавай, среднее содержание марганца в которых достигает 4,0%. Почвы, содержащие больше 182, 183, 184

10% Mn, повидимому, не являются редкостью во влажных областях тропических и подтропических стран.

Итак, конкреции вадов образуются повсюду в биосфере. Их размеры колеблются от больших лепешек некоторых океанических конкреций, имеющих 15 сантиметров в диаметре, и почти невидимых невооруженному глазу форм морских грязей и черноземов.

Вадозные минералы — вады, псиломеланы и пиролюзиты — образуют самые большие скопления марганца, которые мы знаем. Этим путем могут образовываться скопления, заключающие до $2,0 \times 10^8$ тонн металла на небольших участках земной коры. Тот же процесс их образования, который мы наблюдаем в настоящую минуту, непрерывно шел в течение всех прошлых геологических эпох. Отложения марганца на дне морей или озер, где отлагались вады и псиломеланы, с течением времени дали сперва осадки, потом осадочные породы. Мало-по-малу выходя из гидросферы, они изменились химически путем диагенеза. В конце концов на земной поверхности вады переходят в пиролюзиты. В глубоких областях внешней третьей термодинамической оболочки они образуют тела все менее богатые кислородом и водой — кристаллические псиломеланы, карбонаты, манганиты, силикаты, содержащие двухвалентный марганец. Вместе с тем окисное железо превращается в закисное, а такие основания как BaO, ZnO, CaO, CuO входят в новые минералы, образующиеся в этой новой среде. Эта среда принадлежит к другому термодинамическому полю, она обладает несколько более высокой температурой, бедна водой и не содержит свободного кислорода, т.-е. неблагоприятна для жизни.

Во всех больших скоплениях вадозных минералов марганца видно, что нижние их части находятся в состоянии подобного метаморфоза, более или менее интенсивного. Эти скопления иногда содержат несколько миллионов тонн чистого элемента. Они всегда находятся в морских осадочных породах различного геологического возраста. Геологически более молодые образования этого рода сохранили очень ясную аналогию со слоями современных конкреций дна океанических, морских и озерных бассейнов. Таковы находения третичные, частью метаморфизованные, богатые пиролюзитом — Закавказья, Чиа-
188 тури в Грузии (Кутаисской губернии) или олигоценых бас-
189 сейнов около Никополя, в южной России. Месторождения

Чиатури образуют огромные скопления марганцевой руды на поверхности, превышающей 100 квад. километров. (Слои более 1,5^м толщиной.) Они содержат миллионны тонн марганца.

Аналогичны многочисленные месторождения более древних геологических эпох; они обычно так сильно изменены, что их трудно отождествить с современными процессами. Среди них есть образования очень древние, кембрийские, как, например, находения Ньюфаундленда. В них вады перешли почти нацело в родохразиты ($MnCO_3$); аналогия их с существующими образованиями вада кажется несомненной. Эти выделения соединений марганца образовались в водовместилищах небольшой глубины. Под влиянием дальнейшего более глубокого изменения они дают кремнистые руды иногда яшмовидные, напр., мезозойские юрские руды Олимпийских гор в Вашингтоне; здесь марганец (двухвалентный) выделился в виде особого силиката — бёментита. Путем более глубокого изменения эти отложения дают сланцы, богатые железной слюдкой, как, например, гематитовые сланцы Норвегии или Бразилии, содержащие до 7,8% Мп. В конце концов дальнейшей метаморфизацией такие содержащие марганец железные руды дают отложения марганцевых руд, бедных железом.

Во всех этих марганцевых месторождениях марганец сопровождается железом. Повидимому, даже самые большие скопления марганца находятся в виде его примесей к железным рудам, в лимонитах.

Месторождения оолитовых лимонитов, напр., в Лотарингии и около Керчи, являются самыми большими концентрациями железа, какие мы знаем. Они иногда содержат марганец, количество которого, напр., в керченских рудах обычно 1—2%, в богатых марганцем часто 6—7% в среднем, местами до 25%. Эти проценты, принимая во внимание массы керченской железной руды, превращаются в десятки миллионов тонн (больше 7×10^7 тонн, по данным В. И. Лучицкого).

Конкреции вадов и пиролюзитов не являются единственной формой вадозных минералов марганца. Везде на земной поверхности, в биосфере, мы видим образование корок, пятен, натеков, очень часто мелких и крупных пленок в виде дендритов вадов или псиломеланов бедных водой, и пиролюзитов. Можно их встретить всюду и на каждом шагу; нужно только наблюдать окружающую природу. Дендриты не формы кристал-

лизации, это формы гелей, обусловленных капиллярными силами, может-быть, связанных с биохимическими процессами; их перекристаллизация явление вторичное. В пустынях, в результате многовековой работы ветра, пыли и росы, все породы часто покрываются тонкой, блестящей коркой, коричневой или черной, богатой марганцом. Это знаменитый загар пустыни, в котором марганец, находящийся в атмосферной пыли, собран росой. И точно так же в сырых местностях тропических стран породы в ложах рек в Америке, в Индии или в Австралии покрыты схожей пленкой, связанной в своем образовании с марганцом, растворенным в текучей воде. А в сухом жарком климате земная поверхность покрыта иногда корками, богатыми гидратами окисей железа и соединений марганца — пиролюзита, псиломеланов.

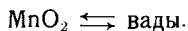
В иных местах земной коры этот процесс наземного образования окисленных соединений марганца более могущественен; он приводит к образованию больших скоплений руд марганца, в сотни тысяч тонн. Наибольшая часть таких месторождений связана с выветриванием известняков, карбонаты которых содержат примеси $MnCO_3$ или которые обтекаются водами, заключающими в растворе $MnCO_3$.

Руды марганца такого происхождения не дают больших его скоплений, но очень распространены, напр., в Северной Америке, где они являются наиболее обычными марганцевыми рудами.

Такие руды не всегда связаны с известняками. Те же явления вторичного обогащения наблюдаются и для глин и для песчаников. Благодаря их выветриванию, находящийся в них марганец, впервые отложившийся в морских осадках, давших им начало, концентрируется в марганцевых осадочных рудах. Примером таких руд являются марганцевые залежи в Арканзасе, связанные с новакулитами.

Так, при очень различных физико-химических условиях верхней термодинамической оболочки, — в гидросфере и в коре выветривания, — результат один и тот же: происходит концентрация марганца, образование чистых его соединений, неизвестных в таком количестве и в такой форме в более глубоких слоях земной коры. Вады и пиролюзиты в конце концов стойкие минералы; одни характерны для водной среды или среды, богатой жизнью, другие — для суши при условиях умеренной влажности и умеренного богатства жизнью. Но эти физико-

географические условия постоянно меняются на земной поверхности. Поэтому мы всюду вокруг наблюдаем вторичные геохимические циклы марганца, так как вады, лишенные воды, превращаются в пиролюзиты, пиролюзиты же, покрытые природной водой, дают вады:



Каким путем они образуются? Какая сила создает эту концентрацию марганца в поверхностной земной оболочке, которая очищает этот марганец от других элементов, с которыми он так связан повсюду в других его находениях?

Это вопрос, на который у нас нет точного ответа. Однако, ясно, что в этой концентрации марганца два явления имеют наибольшее значение: живое вещество и природная вода. В последнем случае важны химические соотношения между окислами и ионами марганца, с одной стороны, и водой, содержащей в растворе свободный кислород, природной водой (пресной или соленой), с другой стороны. Мы не должны, однако, забывать, как это слишком часто делается, что природная вода термодинамической оболочки, нами изучаемой, всегда полна жизни и что ее химические реакции по большей части определяются химическими свойствами живого вещества. Ее кислород к тому же всегда биогенный.

Во многих случаях с уверенностью, в других на основании вполне законной гипотезы можно считать образование вадов результатом биохимических процессов, напр., образование конкреций на дне водных бассейнов и в сырых местностях земной поверхности. Наблюдения и опыты биологов и химиков Молиша, Шорлера, Д. Джексона, Бейверинка и других, минералогов и океанографов, как Буканан, Н. Соколов, Д. Меррей и Е. Филиппи, Я. Самойлов и А. Титов доказывают это с полной несомненностью. Никакое другое объяснение не соответствует наблюдаемым фактам. То, что верно в отдельных частных случаях, более или менее хорошо изученных, должно быть верно по отношению к грандиозному процессу целого во всей его совокупности.

Мельчайшие существа, центры энергии, лучистой космической энергии Солнца, преображенной процессами жизни, вызывают величайшие по земному масштабу геохимические явления. Они совершенно изменяют геохимическую историю марганца.

199, 200,
201, 202
203
204, 205,
206, 207

Значение и необходимость марганца для живого вещества были признаны лишь после долгой и трудной работы. Уже в конце XVIII в. шведский химик К. Шееле доказал существование марганца в растениях, и в конце века это было признано как факт. В самом начале следующего века марганец был найден Вокеленом в теле человека, Вурцером и другими в животных. Однако, лишь в XX в. результат более чем вековой работы окончательно стал достоянием науки; предвзятые идеи о химическом составе организмов, о существовании небольшого числа специально органогенных элементов имели большую силу, чем постоянно наблюдаемые факты. В XIX в. последовательные наблюдения и опыты, ясные, точные, не говоря о множестве отдельных, случайных наблюдений — Соссюра, Каррадори, Вурцера, Сарзо, князя Зальмс-Горстмара, Форхгаммера, Горупа Безанца, А. Леклерка, Денингтона, Моменэ, Грифита, Пишара; в XX в. проф. Г. Бертрана и его учеников, Жодена и Астряка, Брадлея, Е. Успенского, А. Филлипса, Д. А. Вестера — были необходимы, чтобы побороть инерцию общих предвзятых, глубоко укоренившихся идей. Особенно труды Г. Бертрана открыли в последнее время совершенно новые горизонты в изучении роли марганца в живом веществе. Мы теперь можем сказать, что в биосфере, в поверхностной термодинамической оболочке миллионы тонн атомов марганца находятся в непрерывном биохимическом движении, входят и выходят из живого вещества.

Наименьшие количества марганца, найденные в живом веществе, равны в среднем $n \times 10^{-3}\%$, может-быть, $n \times 10^{-2}\%$.

Марганец всегда находится в растениях, в среднем, в количестве нескольких десятых или сотых процента ($n \times 10^{-2}$ — $n \times 10^{-1}\%$ Мп), и в живом животном веществе в количестве нескольких тысячных и даже десятитысячных процента ($n \times 10^{-4}$ — $n \times 10^{-2}\%$ Мп). Но среднее количество не дает правильного понятия об его значении. Существует большое количество организмов гораздо более богатых марганцем, организмов, довольно распространенных в природе, ролью которых в его земной истории нельзя пренебрегать. Эти мало изученные, к сожалению, организмы, могут содержать до 1% Мп. Это, напр., несколько водных растений, как *Zostera maritima*, роль которой в экономии и метаболизме морей бывает иногда совер-

шенно исключительной, лишайники, некоторые грибы, всюду очень распространенные в небольших количествах, как уреди-
неи, разные наземные растения.

231

Для некоторых из этих организмов, как, напр., для грибов разных видов, обитающих в наших почвах, соединения марганца служат пищей.

232

Но существуют живые вещества, еще более богатые марганцем, марганцовые организмы. Таковы бактерии, колонии различных *Crenotrix Leptotrix*, содержащие до 6 — 7% Мп и, вероятно, больше. Это организмы, к сожалению, мало изученные, играющие большую роль в образовании вадов и вообще в выделении марганцовых отложений в пресных водах. Лишь недавно удалось доказать ту же роль бактерий в водах соленых — морских и озерных — и опытом подтвердить выводы наблюдателей океанографов и геологов.

233

234

Все эти организмы аналогичны ферробактериям, которые, как доказал С. Н. Виноградский, автотрофны. Надо думать, что они ищут и находят необходимую для жизни их энергию в окислении соединений двухвалентного марганца в марганец трехвалентный. Существуют другие марганцовые организмы, еще менее изученные. Таков *Bacterium Manganicum* Бейеринка, обладающий способностью окислять карбонат марганца ($MnCO_3$). Это не автотрофный организм. Он находится в почвах и должен играть большую роль в изменении соединений марганца.

235

236

Не исключена возможность, что некоторые и высшие организмы окажутся марганцовыми. Так, *Carex hirta*, вырастая на скоплениях марганцовых соединений, захватывает марганец (в золе 7,9% Mn_3O_4).

237

Наиболее затронута научной мыслью роль марганцовых бактерий. Повидимому, различие в составе первичных вадозных водных минералов марганца, образование содержащих железо вадов и содержащих марганец лимонитов объясняются различием организмов, их выделяющих. Железные бактерии могут использовать марганец вместо железа и обратно.

Эти биохимические реакции, связанные с бактериями, имеют глубокое значение в геохимической истории марганца. Они превращают закисные соединения марганца в более окисленные соединения окиси и двуокиси марганца. То же глубокое окисление соединений марганца совершается в природе и другим

путем, всегда, однако, в большей или меньшей связи с живым веществом. Сомнительно и во всяком случае не доказано, чтобы атмосферный свободный кислород, даже в водном растворе, мог при обыкновенной температуре окислять соединения марганца (Mn^{II}). Но несомненно, что активный кислород — озон или перекись водорода — это делает энергично. Эти два тела образуются в земной коре за счет свободного кислорода, всегда являющегося продуктом жизни. Озон и перекись водорода всегда вадозные минералы; они постоянно образуются при совершенно особых условиях — под влиянием ультрафиолетовых лучей, радиоактивных процессов, электрических разрядов, вероятно, биохимических процессов: для перекиси это факт, кажется, несомненный.

Существует странная, глубокая аналогия между этим геохимическим окислением и ролью марганца в физиологических процессах.

Г. БЕРТРАН давно уже доказал, что марганец играет в организмах важную роль в образовании оксидаз, в процессах окисления, в переносе кислорода.

Точно так же в земной коре происходит поглощение кислорода во время образования вадозных минералов, содержащих марганец. В течение неизменного круговорота, характерного для их истории, эти минералы постоянно переходят в глубокие слои земной коры. Там они теряют кислород, и марганец возвращается в форму двухвалентную. Тот же самый факт доказан для железа; он тоже играет роль передатчика кислорода не только в живом веществе, но и в механизме коры.

Главные окислительные процессы в земной коре идут только под влиянием живого вещества и радиоактивных явлений. Высшие степени окисления наблюдаются только в биосфере: только здесь встречаются минералы, наиболее богатые кислородом. Лишь тут мы встречаем перекиси. Самое живое вещество гораздо более богато кислородом, чем литосфера; оно — вещество окисленное.

Таким образом живое вещество играет очень большую роль в геохимической истории марганца, оно совершенно преобразует ее, вызывает создание новых, сильно окисленных его соединений. Можно видеть в марганцевых организмах, в бактериях, специальное приспособление живого вещества к исполнению этой функции, последствия которой проявляются в много-

численных геохимических процессах; их влияние сказывается на истории всей планеты.

Часто пытаются объяснить историю марганца в биосфере различной растворимостью его соединений. Но анализ этих взглядов легко доказывает их несостоятельность. Несомненно, впрочем, что вода играет огромную роль в истории марганца. Мы не можем ею пренебрегать в нашем изложении.

Важно отметить, что марганцовые соли с ионом Mn^{++} растворимы в воде, между тем, как марганцовые соединения, более богатые кислородом, почти нерастворимы. Так, всякое окисление соединений, содержащих марганец, уменьшает его миграцию в биосфере, всякое восстановление ее усиливает.

В биосфере мы знаем два очень важных источника подвижности химических элементов: живое вещество и природные воды. Организмы извлекают свои химические элементы из других организмов, из пыли воздуха и почвы, из водных псевдо-растворов и растворов. В конце концов водные растворы и псевдо-растворы являются наиболее важными.

Марганец в ионах Mn^{++} находится в растворе во всех природных водах. Однако, его содержание в морской воде кажется ничтожным — количественно его не удалось определить. Опыты Д. МЕРРЕЯ и Р. ИРВИНА указывают, что марганец, по-
видимому, сосредоточен в ней в веществе, удерживаемом филь-
трами, в взвешенной мути (и в организмах, не принятых ими
во внимание). Но он существует в растворе в придонной воде. 242

В воде рек он встречается постоянно. МЕРРЕЙ рассчитал, 243
что реки ежегодно приносят в Океан $7,8 \times 10^6$ метр. тонн
марганца в виде ионов Mn^{++} . Если мы даже уменьшим это число
на половину, согласно новым вычислениям КЛАРКА, все же 244
количество марганца, вносимое этим путем в море, останется
огромным: порядок явления не изменится. Это обогащение
морской воды марганцем, совершаемое в течение веков, должно
было бы быть ощутимо, однако, не существует никаких при-
знаков какой-нибудь концентрации марганца в море. Часть
вносимых ионов постоянно вновь захватывается живым веще-
ством, другая часть постоянно отлагается в виде вадов на дне
моря. Тот же процесс повторяется в бассейнах с пресной
водой, в болотах, почвах, подпочвах.

Механизм этого явления не очень ясен. Существуют указа-
ния, что в реках и в озерах марганец находится в растворе

в виде органических соединений, очень сложных «гуминовых соединений». В таком случае это были бы коллоидальные растворы, и выпадение соединений, содержащих марганец, соответствовало бы образованию нерастворимых гелей. Некоторые финляндские ученые, напр., В. Аарнио, опираясь на исследования О. Ашана о растворенных гуминовых соединениях, считает, что воды, содержащие железо, и лимониты, в состав которых входит марганец озер и болот, представляют такие коллоидальные сгустки. Процесс их образования, по его мнению, не биохимический, и связь его с жизнью заключается в подготовке нужных органических тел, гуминовых соединений, живым веществом. Однако, даже в этом случае жизнь неизбежно участвует в образовании гелей. Коллоидальные гели сосредоточиваются вокруг органических тел — живых или мертвых. Подобное же явление наблюдается, может-быть, в образовании пленок, содержащих марганец на горных породах, в руслах тропических рек; в Квинсланде это лишайники и водоросли *Hildebrandtia*, сосредоточивающие марганец, растворенный в воде. Мне кажется, что эта теория не может иметь общего значения. Существование организмов (бактерий) и их влияние на образование вадов и лимонитов несомненно. К тому же «гуминовые соединения», почти неизвестные по своему химическому строению, связаны с процессами биохимическими, при чем связь эта не изучена.

Вадозная, фреатическая и ювенильная вода содержит атомы марганца. Она их извлекает из продуктов разложения минералов или разрушения живого вещества. Она несет их из глубоких областей земной коры в водах минеральных источников.

Два факта очень характерны: 1) количество марганца во всех этих водах меньше, чем концентрация его в организмах, в них обитающих, и 2) количество марганца по отношению к железу в них значительно, чем то же среднее отношение Mn/Fe в земной коре.

Один из источников, наиболее богатых марганцем, — Эксельсиор, в Миссури. Он содержит $4,5 \times 10^{-4}\%$ марганца, согласно анализу В. Массона. Вода рек в общем гораздо менее им богата, однако, некоторые источники пресной воды в Канзасе дают по анализу Юнга до $4 \times 10^{-4}\%$ марганца. Воды болот и озер, в которых отлагаются гидроксиды железа, содержащие марганец и вады, содержат больше марганца; напр., в *Ederveen'e*

в Голландии найдено до $1,14 \times 10^{-3}\%$ марганца. Но обычно- 250
венно природные воды содержат гораздо менее значительное
количество марганца, $p \times 10^{-6}$ — $p \times 10^{-4}\%$ и еще меньше.

Живое вещество, повидимому, концентрирует марганец
по сравнению с природными водами, откуда оно его извлекает;
растения содержат $p \times 10^{-2}$ — $p \times 10^{-1}$ Мп. Животные содер-
жат его меньше, но все же дают его количества, близкие к макси-
мальным для природных вод.

В пресных водах марганец большей частью встречается
в виде бикарбоната. Это факт большой важности, так как 251
угольная кислота в таких условиях почти всегда находится
в более или менее прямой зависимости от живого вещества
и почти всегда является продуктом жизни. Но состояние в виде
бикарбоната не отвечает всем его растворам: мы находим его
связанным с SO_3'' , быть-может, с FO_4 , с гуматами.

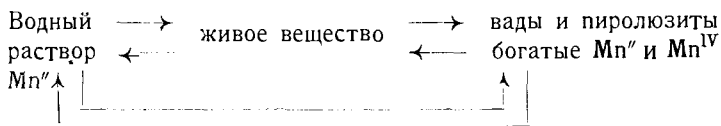
Отношение Мп:Fe в водах — в пресных водах, соленых
озерах и минеральных источниках — совершенно иное, чем
их среднее взаимоотношение в земной коре (стр. 64). В этих
водах нередко количество марганца увеличено по сравнению
с железом, а иногда даже его больше чем железа, напр.,
в некоторых источниках Забайкалья или Северной Америки. 252, 253

Такие случаи не являются общим правилом, хотя и нередки.
Но повышенное отношение Мп/Fe в этих водах, по сравнению
с тем же отношением в горных породах, откуда в конечном
итоге воды получают и Мп и Fe — явление обычное. Уже
в них заметно отделение Мп и Fe, совершающееся в биосфере.

Малое количество марганца в воде гидросферы связано, по-
видимому, с явлениями жизни.

Совершенно несомненно, что вадозные минералы марганца
не вполне нерастворимы и что марганец вадов и пиролюзитов
отчасти вступает в раствор. Механизм этого процесса неиз-
вестен, но он связан с восстановлением высших окислов мар-
ганца, которое идет в среде, богатой разлагающимся орга-
ническим веществом. Вероятно, это восстановление идет
биохимическим путем, подобно тому как оно происходит при
тех же условиях с соединениями серы, азота, и, вероятно,
железа.

Взаимные отношения вадозных форм нахождения марганца
могут быть изображены в виде вторичного геохимического
кругового процесса:



В конце концов значительная часть атомов марганца собирается в биосфере и в осадочных породах в скоплениях, в виде руд марганца. Сами породы обедняются марганцем. 254 В известняках его количество (по Ф. Кларку) равняется $5 \times 10^{-2}\%$; еще меньшие его проценты находятся в песчани- 255 ках и глинистых сланцах, считая в том числе глины и мергеля. Это факт совершенно обратный его распределению в ювенильных породах, где его скопления редки и где общее количество его в породе сравнительно высоко.

Метаморфические области земной коры являются переходными между этими двумя крайними его состояниями. История фреатических минералов марганца — промежуточная между историей вадозных и ювенильных его минералов. Фреатические минералы марганца многочисленны. В третьей термодинамической оболочке, в верхних ее слоях, мы еще встречаем соединения Mn_2O_3 и MnO_2 . Однако, часть окислов марганца уже восстановлена до Mn'' . В нижних областях это восстановление закончено или почти закончено. Там не находят соединений MnO_2 , и редко образуются более или менее сложные соединения Mn_2O_3 — некоторые шпинели и алюмосиликаты (группы эпидотов и граната).

Эти фреатические минералы собираются в глубоких частях вадозных находений марганца, как это мы видели для марганцовых отложений морского происхождения. Это общее явление. Фогт справедливо объясняет сланцы, богатые железной слюдкой, часто образующие большие скопления в метаморфических слоях, как остатки руд железа и марганца озер, 256 болот и морей.

Интересно отметить большое число фреатических минералов марганца и их разнообразие; каждый год открывают новые карбонаты, простые и сложные силикаты, манганиты простые и сложные, ферриты, фосфаты, арсенаты, ниобаты, танталаты. Все эти фреатические минералы устойчивы лишь при совершенно определенных условиях.

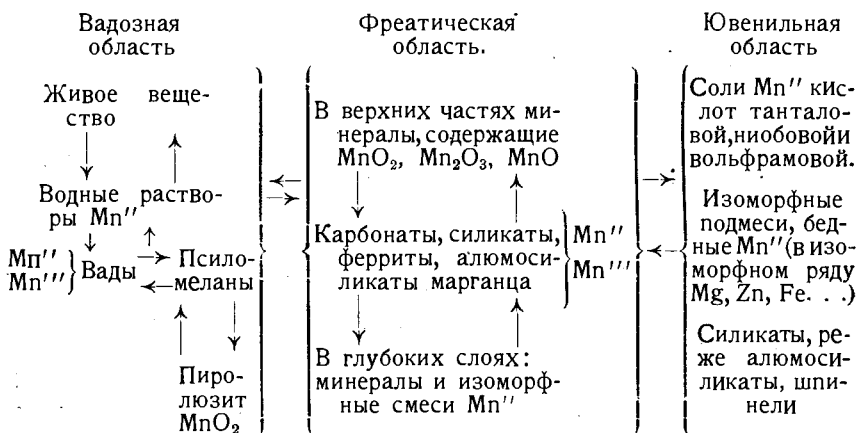
Когда в результате геологических явлений, вследствие движений орогенетических, тектонических или благодаря дей-

ствию денудации, эти фреатические минералы попадают в слои, близкие к земной поверхности, они не могут существовать, как таковые, они переходят в псиломеланы, вады, пиролюзиты и другие вадозные минералы, они разрушаются водными растворами, их марганец входит в живое вещество.

Если вследствие орогенетических и тектонических движений эти же самые минералы проникают в глубь магматической термодинамической оболочки, они не могут в ней оставаться без новых молекулярных перегруппировок. Здеc атомы марганца устойчивы лишь растворенные в другом твердом теле — когда они находятся в изоморфных смесях, более бедных марганцом, чем фреатические или вадозные его минералы.

Этот факт подтверждает старинное наблюдение рудокопов, что все рудники марганца становятся более бедными по мере большего углубления. Общая геохимическая история марганца 257 может быть изображена следующей схемой его первичного геохимического кругового процесса (табл. IX):

ТАБЛИЦА IX.
ЦИКЛ МАРГАНЦА.



Безостановочно в течение миллионов лет атомы марганца переходят из глубоких слоев — ювенильных — в промежуточные оболочки — фреатические — до биосферы — вадозной оболочки. Эта миграция атомов совершается путем геологических процессов. В каждой термодинамической оболочке атомы марганца вступают в новые определенные, ей свойственные, молекулярные группировки.

Марганец не представляет исключения. Большая часть вещества земной коры — около 99,99 % (и, может-быть, больше) и почти все химические элементы могут быть приведены к подобным же первичным геохимическим циклам.

Однако, этот круговой процесс не захватывает всей их массы. Так, для марганца мы видим, что часть его атомов связана с другими элементами — Ca, Fe и Si, не принимает участия в круговых химических реакциях марганца. Это — атомы его, находящиеся в состоянии рассеяния.

258 Ленард и Клатт показали путем изучения светящихся тел и их спектров, что известь, выделенная из какого-
259 нибудь минерала, всегда содержит среди других металлов марганец в количествах, могущих достигнуть $p \times 10^{-20}$ % массы Ca и, может-быть, больше. Если новые наблюдения, которые необходимо поставить, подтвердят такое рассеяние марганца, его нахождение во всяком природном кальциевом минерале, из этого будет следовать, что масса марганца, таким образом рассеянная, достигает $p \times 10^{14}$ — $p \times 10^{15}$ тонн, количества,
260 которым нельзя пренебрегать. И даже если бы новые наблюдения внесли поправки, факт большого рассеяния марганца в природном углекислом кальции остался бы незабываемым. Этот факт не единичен. Марганец встречаются рассеянным в первичных минералах железа, в некоторых вадозных соединениях кремнезема, в первичных алюмосиликатах и во многих других случаях. Недавние работы Ватсона, Берда
261 и Штейгера, напр., доказали, что все аметисты или розовые кварцы содержат $8,6 \times 10^{-5}$ — $4,1 \times 10^{-4}$ % Mn, количества, аналогичные содержанию марганца в природных водах.

В случае рассеяния марганец выходит надолго, может-быть, навсегда, из своих первичных геохимических циклов. Атомы марганца повторяют в этом случае геохимическую историю кальция, кремния, железа. Они не отделяются от этих элементов обычными природными химическими процессами, так же как они от них не отделяются аналитическими приемами наших лабораторий. История этих атомов не может быть изображена в форме обратимых химических процессов, соответствующих главной массе марганца.

Их геохимическая история совершенно иная, и я еще несколько раз в этой книге буду иметь случай возвращаться к явлениям рассеяния, столь важным для истории химических элементов Земли.

3. Энергия геохимических циклических процессов.

Самый важный факт в этих первичных циклах, это—круговорот медленный, но постоянный химических элементов из одной оболочки в другую. Это движение происходит в результате геохимических процессов и есть следствие действия энергии, источник которой различен. Геохимическая история химических элементов в значительной мере основана на изучении законов этих миграций атомов.

Первый факт, требующий определения, это—размах этих миграций, сводимых, как мы видели, к обратимым процессам. Очевидно, что в обратимых процессах химические элементы всегда возвращаются в свое исходное состояние. Таким образом, никакой потери химических элементов не должно быть, они всегда должны оставаться в границах поля, в котором эти обратимые явления происходят.

Но каково поле обратимых реакций, поле миграций атомов на нашей планете? Охватывает ли оно все ее вещество? Или есть определенная область миграций атомов?

Повидимому, такая область есть. И хотя ее границы не очень ясны, можно их, однако, практически установить с достаточной точностью. Верхняя граница гораздо яснее нижней.

В начале века французский ученый-метеоролог Л. Тейссеран-де-Бор первый отметил в атмосфере две газовые оболочки—тропосферу и стратосферу. Он доказал, что на известной высоте над поверхностью почти не происходит обмена газовых масс. Там находится изотермический слой. Газы стратосферы, находящиеся наверху, очень независимы от движений вещества на земной поверхности, и если существует обмен между веществом этих высоких областей (стратосфера) и поверхностью земли, то этот обмен совершается крайне медленно. Несомненно, в течение геологического времени он не будет незаметной величиной, но при изучении истории химических элементов, в данный момент, когда мы исследуем постоянно идущие миграции больших масс химических элементов,—эти крайне медленные изменения охватывают лишь незначительные их количества. Мы можем, следовательно, смотреть на тропосферу как на последнюю высшую земную оболочку, где

чувствуются отголоски геохимических обратимых процессов. Согласно недавним определениям, мощность тропосферы, различная у экватора и у полюсов, над континентами и над океанами, несколько изменчива и должна колебаться в пределах от 9 до 13 километров. Она более мощна к полюсам.

Нижняя граница области первичных круговых процессов менее определенная.

Можно считать, что нижней границей всей земной коры является изостатическая поверхность планеты, отделяющая поверхностную ее область, явно разнородную с гравиметрической точки зрения, т.-е. разнородную по удельному весу составляющих ее пород — от гравиметрически однородной области, глубинной. Если исключить гидросферу, удельный вес которой 1,03, — различия в удельном весе больших участков поверхностной части планеты не превысят в общем 5%, поднимаясь иногда до 10%.

Все указывает, что глубинные части земной коры гораздо более однородны в этом отношении: по видимому, их удельный вес одинаков на одном и том же уровне (считая от центра земли), т.-е. мы имеем правильную смену одинаковых по удельному весу оболочек по мере движения к центру земли.

За последнее время более глубокие области планеты, хотя и близкие к ее поверхности, начинают выясняться в своем облике; в нашем изложении мы еще встретимся с этими достижениями.

Недавние определения указывают для изометрической поверхности меньшую глубину, чем думали несколько лет назад. Эти числа колеблются между 59 и 96 километрами.

Но для явлений, изучаемых нами, эти границы слишком широки. Никакое геологическое явление не приносит вещества не только из областей, лежащих ниже этой поверхности, но из гораздо меньших глубин. Глубина наших шахт, наших скважин, сведенная к уровню моря, не превышает сколько-нибудь значительно двух километров. Очаги вулканических явлений находятся на глубине немногих километров. Горячие источники и газовые эманации поднимаются из тех же глубин. Пустые пространства в породах могут существовать лишь до глубины от 12 до 15 километров. Большие числа всегда менее вероятны. Немногие явления, главным образом землетрясения, дают точное представление о больших глубинах.

Наши представления о глубоких областях сильно меняются за последнее время. С одной стороны, становится ясным, что пере-

рыв в свойствах, определяющий гранитную оболочку (стр. 59) земной коры, лежит гораздо ближе к земной поверхности, чем мы это думали раньше, — не глубже 16—20 километров. Эта нижняя граница очень неправильная, о ней дает понятие рельеф планеты, она подходит ко дну океана, сильно опускается под континентами. Может-быть, под океаном гранитная оболочка отсутствует.

Другой факт, выясняющийся из изучения землетрясений, ²⁶⁶ тот, что большинство землетрясений начинается на глубинах, близких к 8 километрам (Ольдгем, 1926); это так называемые эписейсмсы: редко когда глубина их зарождения достигает больших глубин — 34 километров в пределе (Т. Огава, 1924). Но есть землетрясения, гораздо более глубокого генезиса — батисейсмсы (по Тернеру), они идут с глубин, главным образом, близких к 200 километров, поднимающихся до 100 и опускающихся до 300 километров.

С интересующей нас точки зрения важны только эписейсмсы, но их значение с точки зрения обмена вещества поверхностных и глубоких частей земной коры ничтожно.

Этот обмен кончается в гранитной оболочке и захватывает базальтовую, ниже лежащую, главным образом, в области океана и прилегающей суши.

Уже вещество более или менее жидкое, вязкое, базальтовой оболочки, лишь временами принимает участие в миграции доступных химических элементов. Участие более глубоких слоев не доказано.

Базальтовая оболочка (ниже которой предполагают ²⁶⁷ перидотитовую) имеет высокую температуру, достигающую порядка 1000° и, может-быть, немного выше.

Таким образом, с точки зрения изучаемой нами миграции химических элементов земной коры и образуемых ею круговых процессов необходимо принимать во внимание лишь верхнюю часть этой земной коры, не превышающую 20 километров.

Все, что лежит ниже этой границы, не отражается на изучаемых процессах, по крайней мере, в их современном научном понимании.

Оно не отражается на миграциях элементов и в том случае, если мы выйдем за пределы нашего времени и примем во внимание медленные процессы, совершающиеся в геологические периоды: образование гор, сдвиги, передвижения земных масс. Они все идут в тех же пределах.

268 Геохимические циклы химических элементов есть явление поверхностное. Внутренность планеты для них как будто не существует.

Тот же факт не менее ясно выявляется из изучения не самих циклов, но энергии, вызывающей их в течение геологического времени. Большая часть этой энергии, а, может-быть, и вся энергия есть энергия земной поверхности.

Источники энергии геологических явлений разнородны. Можно отметить 3 источника, очень различных, быть-может, гораздо менее связанных между собой, чем это принято думать. Это энергия космическая — прежде всего, и для изучаемых явлений почти исключительно — солнечная. Во-вторых, планетная энергия — земная — связанная со строением и с космической историей нашей планеты и, в-третьих, внутренняя энергия материи, создающей земную кору. Наши понятия об относительном значении этих источников энергии в последнее время коренным образом изменяются. Планетная земная энергия, игравшая первенствующую роль в представлениях и гипотезах науки последних веков, все более утрачивает приписывавшееся ей значение и влияние на ход процессов земной коры.

Планетная земная энергия бывает двух родов: 1 — энергия тяготения и 2 — остаток космической энергии от эпохи образования нашей планеты.

Основываясь на гениальных представлениях Л а п л а с а, многие верят, что земля была некогда жидким сфероидом, находилась в расплавленном состоянии и сейчас постепенно охлаждается. Во время этого охлаждения на поверхности образовалась твердая кора, поверхность которой превосходила нынешнюю. Эта кора разрывается и движется, неизбежно следуя движениям сокращения земного ядра, вызванного потерей тепла и падением температуры. Так объясняли довольно высокую температуру на земной поверхности, вулканические явления и жидкую лаву, образование встречаемых всюду кристаллических слоистых сланцев, все повышающуюся температуру более глубоких слоев земли, геотермический градиент, складчатость земной коры, ортогенетические процессы, образование горных цепей и т. п.

Постепенно все эти факты получили или получают совершенно иное объяснение. Идеи, столь распространенные в науке XVIII в., идеи Мэрана, Бюффона, Бальи, выдвигавшие

в объяснение метеорологических и климатических явлений первенствующее значение внутреннего земного тепла, господствовали до начала XIX в. Думали, что, напр., во Франции тепло, получаемое от солнца летом, в 29 раз меньше теплоты, приходящей из глубин земли; зимой отношение равнялось 1:400. Великий физик и математик Фурье доказал ложность этого распространенного тогда представления, и его теоретическое рассуждение было блестящим образом подтверждено впоследствии совокупностью бесчисленных эмпирических фактов. 269

Тепло, исходящее на земную поверхность из глубин, столь незначительно, что не может проявляться в метеорологических и климатических явлениях. Последние вызываются лучеиспусканием солнца. Вулканические явления, как мы знаем, не находятся ни в какой связи с земными глубинами: это — поверхностные явления, и лавы вытекают из областей, находящихся лишь на несколько километров ниже уровня океана. Кристаллические сланцы не могут быть остатками гипотетической коры первобытного затвердения, — они являются метаморфизованными, осадочными или массивными породами.

Сомнительной может быть лишь причина разломов земной коры, ее больших движений, их предполагаемая связь с различным сокращением земного ядра и его наружной оболочки при охлаждении планеты и геотермический градиент. Но и это, несомненно, явления земной коры, а не земного шара. Они должны быть связаны с установленным фактом очень быстрого повышения температуры, могущей доходить на глубине 10—20 километров от земной поверхности до 1000, если не больше, градусов, достигать температуры плавления кремнеземистых минералов, образующих земную кору.

Ничто не доказывает нам, что эта высокая температура является отголоском космических стадий земли, следствием ее генезиса из раскаленных масс. Наоборот, мы можем утверждать со все большей достоверностью, что наибольшая часть тепла, вызывающего такое нагревание земной коры, и даже, повидимому, все это тепло связано с химическим составом земной коры, с характером ее атомов. 270

В конце минувшего века великое открытие радиоактивности материи, сделанное А. Беккервелем, доказало существование огромной, неожиданной для науки XIX века энергии. Атомная энергия, распространенная всюду вокруг нас в форме

свободной энергии — энергии радиоактивной — совершенно достаточно, чтобы объяснить, не прибегая ни к каким гипотезам, в том числе к космогоническим, все указанные геологические явления.

Геологи неизбежно должны сейчас пересмотреть свои основные представления. Многолетние работы Дэна, Гейма, Зюсса и их многочисленных последователей связаны с представлениями о сжатии земного ядра вследствие его охлаждения и с вызываемым благодаря этому в земной поверхностной коре боковым давлением. Таковы складки и сдвиги твердой земной коры, образование горных цепей, геосинклинали, строение континентов и океанических бассейнов. Тепло, освобождающееся под влиянием непрерывного разрушения атомов определенных радиоактивных элементов (действительно имеющего место), совершенно достаточно для объяснения всех этих грандиозных явлений. Ни предполагаемому охлаждению и сжатию земного ядра, ни представлению о расплавленной некогда планете нет места среди известных нам геологических фактов. Они должны быть отброшены.

Мы, повидимому, находимся сейчас в положении, сходном с тем, которое переживалось около ста лет назад. Тогда нашли в энергии солнца источник энергии, не принятый во внимание, достаточный для объяснения метеорологических и климатических явлений, и им заменили тепло внутренности планеты, к которому прибегали для объяснения этих обычных явлений. Сейчас нам даже странным кажется старинное объяснение. Теперь изгоняют гипотетическое космическое тепло нашей планеты из ее последних твердых — из орогенетических процессов. Интересно и, может быть, важно отметить, что тепло солнца в конце концов, может быть, само обязано своим происхождением явлениям радиоактивности атомной энергии.

Остается одно тяготение, как несомненный источник земной планетной энергии. В явлениях осаднения, в переносах материальных масс, в движениях газов и воды, в тектонических сдвигах и шариажах, тяготение всегда совершает геохимическую работу, но не играет первостепенной роли в непрерывном возобновлении геохимических циклов.

Никто не ищет в нем объяснения их существования. Геохимические циклы связаны с атомной — радиоактивной — и космической энергией. Атомная энергия проявляется во вну-

треннем тепле земной коры, в существовании ее кремневой магмы, нагретой до температуры около 1000° Ц. Эта энергия выявляется магмами, глубокими ювенильными и фреатическими минералами. Более глубокие ювенильные и фреатические минералы, разрушаясь, давая более поверхностные фреатические соединения и вадозные тела, освобождают тепло, превращающееся в движения, связанные с геохимическим круговым процессом. Эта атомная энергия связана с непрерывно идущим распадением атомов урана, тория, радия, иония, протактиния, калия, рубидия, может-быть, и других элементов, с ними не связанных.

Космическая энергия притекает к нам из космических пространств, туманностей, метеоритов и космической пыли, солнца. Энергия солнца—самая важная и единственная, которую обыкновенно принимают во внимание. Однако, возможно, что энергия других космических тел в течение геологического времени гораздо важнее, чем думают. Сама энергия солнца может быть тесно связана с энергией звезд. Но пока мы вынуждены 271 принимать во внимание только энергию солнца, так как относительно других небесных тел у нас существуют только гипотезы.

В солнечной энергии, к нам достигающей, необходимо с геохимической точки зрения отличать три ее формы: энергию ультрафиолетовых лучей, энергию термическую и энергию, поглощенную живым веществом. Эта последняя играет господствующую роль в геохимических круговых процессах.

Живое вещество можно рассматривать, как вещество, находящееся в деятельном состоянии, как аккумулятор солнечной энергии. Она превращает солнечную энергию—лучистую и термическую—в химическую энергию, в молекулярное движение. 272

Таким образом земная кора представляется нам не инертной массой вещества, а сложным механизмом, который при посредстве вещества, находящегося в деятельном состоянии, поддерживает атомы земной коры в энергичном непрерывном движении—в разнообразных миграциях, главным образом, в круговых геохимических процессах.

ОЧЕРК ЧЕТВЕРТЫЙ.

КРЕМНИЙ И СИЛИКАТЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ.

1. Обилие кремния в земной коре.

После кислорода кремний — элемент, наиболее распространенный в земной коре. Согласно последним определениям 273 Ф. Кларка и Вашингтона (1924), он образует 25,74% ее массы. Но, принимая во внимание концентрацию кремния в верхней зоне метаморфической оболочки, упущенную из вида Ф. Кларком и Вашингтоном, его количество может быть меньше, но едва ли оно много ниже 26%.

Это определение основывается на составе горных пород, среди которых ясно преобладают кислые массивные породы: граниты, гранодиориты и т. д., образующие главную часть вещества, доступных нашему непосредственному изучению оболочек.

Существуют, однако, указания, что количество кремния уменьшается с глубиной. Основные породы гипотетической базальтовой оболочки менее богаты кремнием. Они содержат лишь от 22 до 23% Si.

Под земной корой земное ядро, несомненно, гораздо менее богато кремнием, так как удельный вес земли, равняющийся 5,6, показывает, что вещество земли образовано из тел, более тяжелых, чем химические соединения кремния. Плотность земного ядра должна быть близкой к 8—10, может-быть, к 11; оно образовано, очевидно, из тяжелого вещества, быть-может, из какого-нибудь металла, подобного железу. Совершенно очевидно, что кремний (удельный вес которого 2,0—2,35) не может в нем содержаться в таком большом количестве, как в земных оболочках.

Таким образом, кремний является химическим элементом, сосредоточенным в земной коре; преобладание, наблюдаемое

нами, его окисленных соединений — силикатов, представляет на нашей планете поверхностное явление.

Это, однако, не противоречит факту, который сейчас 274
выявляется в работах Ц. Пайн, — о широком распростране- 275
нии кремния в звездных телах. Кремний, несомненно, вырисо-
вывается в мироздании как элемент, обладающий исключительным
значением. Он сосредоточивается, повидимому, в наружных 276
оболочках небесных светил.

Геохимический цикл кремния имеет первенствующее значение
в земной коре. Мы уже видели, что область проявления геохи-
мических круговых процессов очень независима от других зем-
ных областей, что она одарена особенной энергией, что ее веще-
ство не находится в состоянии правильного и интенсивного
обмена с другими земными областями. Господствующее количе-
ство кремния, его огромное обилие в этой области, предста-
вляет факт большого теоретического значения в строении нашей
планеты, несмотря на то, что причина этого факта нам еще
не известна. 277

2. Значение кремнезема.

Кремний преобладает в земной коре не в свободном состоя-
нии, а в форме особых определенных своих соединений — с и л и
к а т о в.

Очень характерно для кремния, что в земной коре он почти
всегда соединен с кислородом, всегда давая в химических и тер-
модинамических условиях коры ту же окись SiO_2 , — кремнезем
или кремниевый ангидрид. Эта окись — в соединениях — образует
более половины земной коры — 55,3% ее массы. Но масса материи,
неизбежно связанная с кремнием, — еще больше. Свободный крем-
ний — большей частью кварц — образует, согласно Ф. Кларку, 278
лишь 12,0% массы коры, остальной SiO_2 — 42,5% коры нахо-
дится в соединении с другими металлическими окислами и обра-
зует силикаты и алюмосиликаты. Согласно Кларку, в мас- 279
сивных породах, которые одни образуют не менее 95% массы
земной коры, 59,5% их массы состоит из полевых шпатов,
16,8% из роговых обманок и пироксенов, 3,8% слюд. Это все
силикаты и алюмосиликаты.

Очевидно, что почти вся масса земной коры (больше 97%,
состоит из кремнезема и силикатов. Атомы кремния определяют
ее химические свойства.

Самые большие из известных геохимических процессов, находящихся в прямой связи с движением преобладающих земных масс, это — процессы геохимической истории кремния.

Долгое время стремились понять химию кремния, изучая его аналогии с химией углерода, дающего иногда соединения сходной формулы, но теперь ясно, что это представление не соответствует действительности. Химия кремния, взятая в целом, не похожа на химию углерода.

280 Самая выдающаяся черта химии кремния, это — преобладание очень стойких кислородных соединений. Все другие его соединения не только не стойки, но редки в земных условиях; вообще они образуются и бывают устойчивы лишь при совершенно особых условиях, при отсутствии кислорода и воды. До сих пор получено в наших лабораториях не больше 500 из 281 таких кремниевых соединений, много меньше числа природных силикатов.

Присутствие большого количества неокисленных кремниевых соединений в земной коре сомнительно. В научной литературе часто находят указания на существование соединений кремния с азотом, бором, водородом, углеродом. Есть указания на существование кремниевых сульфосолей, но это всегда более или менее сомнительные гипотезы. Факты не подтверждают их. Однако, нужно сделать исключение для соединений галоидов. Фтористый кремний — SiF_4 , свободный и в форме солей, несомненно, существует. Некоторые оксифтористые соединения собираются в значительных количествах (например, топаз $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$). Фтористые соединения кремния, несомненно, играют видную роль в процессах вулканических и контактных. Они в конце концов более или менее быстро превращаются в силикаты, иногда содержащие изоморфную подмесь оксифтористых кремниевых соединений.

Менее достоверно, но вероятно существование хлористых соединений кремния, очень неустойчивых, при условиях земной коры. Они быстро переходят в окисленные соединения, и их количество кажется ничтожным, но постоянно возобновляется. Таким образом, вся история кремния в земной коре определяется кислородными соединениями и в виде исключения фтористыми производными кремния. Существование последних — всегда ювенильных или фреатических — минералов указывает на присутствие в глубинах, в которых отсутствует вода, других неиз-

вестных нам, неокисленных соединений кремния. Но эти глубины, лишенные воды, остаются вне области явлений, изучаемых нами в минералогии и геохимии.

3. Простые и сложные соединения кремнезема.

Все природные соединения кремния являются различными производными одного единственного окисла SiO_2 .

282

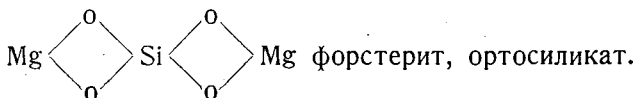
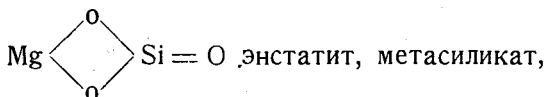
Другие окислы, известные в лабораториях, в природе не существуют. Производные SiO_2 называются силикатами. Окисел кремния, SiO_2 , обладает свойствами ангидрида, однако, не все силикаты могут рассматриваться как его соли. Их химическая функция различна, и строение наиболее распространенных силикатов не всегда соответствует солям SiO_2 .

Оставляя пока в стороне столь важные отношения между кремнием и водой и принимая во внимание лишь металлические окислы, мы видим, что кремний может давать с ними соединения, обладающие различной химической функцией. С одной стороны, кремний дает соли, например, MgSiO_3 , Mg_2SiO_4 и т. д., с другой стороны, сложные ангидриды, например, Al_2SiO_5 .

Кремниевые соли, известные в природе, с несомненностью соответствуют двум кислотам, неизвестным в свободном состоянии и, вероятно, неустойчивым — H_2SiO_3 и H_4SiO_4 — теоретическим метакремневой и ортокремневой кислотам. Можно представить эти тела структурными формулами, указывающими различие их свойств.

283

$\text{O} = \text{Si} = \text{O}$ кварц, кремневый ангидрид.



В природе другие соли SiO_2 почти не известны, существует, однако, несколько очень редких минералов, формула которых, быть-может, соответствует солям более сложных кислот. Они не только очень редки, но их химическое строение не определено.

Средние соли кремниевых кислот известны в природе лишь для сильных оснований, принадлежащих почти исключительно к изоморфному ряду магнезия — Mg, Mn, Zn, Fe, Co, (Be).

Строение производных сложных ангидридов разнообразно.

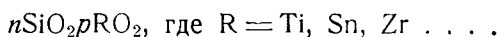
Идея сложных ангидридов, введенная в науку еще в прошлом веке Мариньяком и американским химиком Волькот Гиввсом, проникает в область минералогии и химии силикатов лишь очень медленно. Однако, она, повидимому, подтверждается фактами и лучше их объясняет, чем другие существующие теоретические попытки.

В химии давно известны соли и гидратные производные сложных ангидридов: кремнево-вольфрамовых, кремнево-молибденовых, кремнево-фосфорных и т. д., например, калиевая соль — $4K_2O \cdot SiO_2 \cdot 12WO_3 \cdot 14H_2O_4$, отвечающая сложному ангидриду $SiO_2 \cdot 12WO_3$.

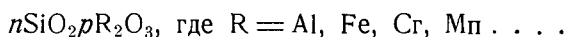
Аналогичные продукты очень распространены среди минералов.

Кремний образует в земной коре сложные ангидриды с большим количеством окислов: с Al_2O_3 , Fe_2O_3 , B_2O_3 , R_2O_5 , CO_2 , SO_2 , ZrO_2 , TiO_2 , V_2O_3 и т. д. Большею частью эти ангидриды находятся в природе в состоянии более или менее сложных солей или гидратов, в соединении с металлическими основаниями.

Большинство из них редкие тела. Два ряда сложных ангидридов представляют исключение. Это:



и



В первой серии наиболее важны окислы, у которых $p = r = 1$, т.е. ангидриды $SiTiO_4$, $SiZrO_4$, дающие соли или находящиеся в свободном состоянии, как, например, сложный ангидрид кремнециркониевый, очень обычный минерал циркон $ZrSiO_4$.

Такие ангидриды и соли играют роль в геохимической истории титана и циркония.

Но в общем масштабе геологических и геохимических явлений земной коры преобладает другая группа сложных ангидридов изоморфного ряда алюминия. Она включает элементы, наиболее распространенные после кислорода и кремния, как-то: алюминий и железо. И на ней мы должны поэтому сосредоточить свое внимание. Это комплексы:

$rSiO_2qR_2O_3$, где $R = Al, Fe, Cr, Mn, Ti, V, B, Sc, Y$, и редкие земли.

Большая часть массы атомов Si, Al, Fe, B, Sc, Y, редких земель находятся в земной коре в состоянии этих соединений.

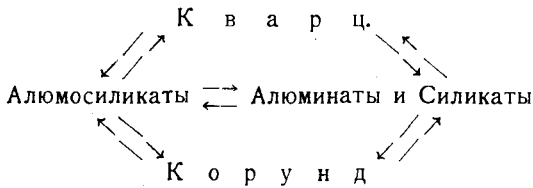
Наиболее важными такими соединениями являются кремнево-алюминиевые и кремнево-железные, которые образуют большую часть массы земной коры.

4. Алюминий и железо в земной коре.

Значение алюминия и железа сразу бросается в глаза, если мы вспомним различную распространенность химических элементов в земной коре.

Кислород, кремний, алюминий и железо — элементы наиболее распространенные в земной коре (таблица II). Они вместе составляют 86,8% ее массы. Кислород и кремний дают массы метрических тонн порядка 10^{18} , алюминий и железо — между 10^{17} и 10^{18} . Почти весь кремний соединен с кислородом. Таким образом большая часть атомов кислорода попадает в геохимическую историю кремния. Тот же факт наблюдается для алюминия. Алюминий не менее связан с кислородом в земной коре, чем кремний. Все его вадозные минералы и почти все фреатические и ювенильные являются кислородными соединениями. Существует лишь небольшая группа фтористых соединений алюминия — ювенильных и фреатических (криолит и т. д.). В масштабе земной коры эта группа захватывает незначительное количество алюминия.

Главная масса его входит в состав алюмосиликатов. Значительные количества входят в состав ювенильных или фреатических минералов — свободного окисла алюминия — Al_2O_3 — корунда, алюминатов — шпинелей, реже фосфорнокислых соединений. Среди вадозных минералов наблюдаются гидраты окиси алюминия — группа диаспоров ($H_2Al_2O_4$), — сульфаты и фосфаты, химическая природа которых очень сложна, и много более редких тел. Генезис всех вадозных минералов алюминия, их господствующей массы, в конце концов связан с алюмосиликатами. Отношение между корундом и шпинелями, с одной стороны, и алюмосиликатами — с другой, более сложно; во многих случаях, однако (в магмах), почти несомненно, что они являются частями одной и той же реакции сложного равновесия:



286 Опыты и наблюдения С. Морозевича доказывают это в частных случаях, но, повидимому, несомненно, что это явление общего характера.

Таким образом, очевидно, что отношения атомов алюминия к атомам кремния и кислорода определяют всю историю алюминия и что большая часть его атомов сосредоточивается в алюмосиликатах.

История железа более сложна. Лишь часть его атомов, правда, самая большая, соединена с кислородом. Но большие массы атомов железа независимы от кислорода, химически связаны с серой, с мышьяком, отчасти с хлором. Они дают совершенно новые циклы, очень независимые от кремния, играющие большую роль в истории химических элементов: S, As, Sb, Cu, Ni, Co, Zn, Cd, In. Принимая во внимание относительно небольшие количества этих химических элементов в массе земной коры, ясно, что масса атомов железа, входящая в их соединения, не может быть очень большой, и что надо еще учитывать многочисленные соединения этих элементов, лишенные железа.

Все же, как ни велико значение в химии коры соединений, заключающих в себе железо и лишенных кислорода, — господствующая масса соединений железа состоит из кислородных тел.

Но окисленные соединения железа отчасти независимы от истории кремния. Несомненно, железные соединения — ювенильные или фреатические — лишенные кислорода, дают окисленные вадозные минералы, не находящиеся в прямой связи с геохимической историей кремния. Но, кроме того, существуют ювенильные железные окисленные минералы, имеющие свою собственную историю. Так, окись железа — Fe_2O_3 дает многочисленные минералы. Она в свободном состоянии встречается огромными массами в виде фреатического минерала — гематита. Она дает ферриты, — соли, соответствующие алюминатам, шпинелям. Ферриты часто очень богаты железом. Так, большие массы железа сосредоточены (минералы ювенильные или фреатические) в виде магнетитов ($\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}_2\text{O}_4$).

В кремневых магмах во время их затвердевания должны существовать иногда равновесия, аналогичные наблюдаемым для шпинелей (стр. 96) между магнетитом (FeFe_2O_4) и силикатами. Однако, такие равновесия должны быть более редки, так как феррисиликаты гораздо менее устойчивы, при условиях затвердевания кремневых магм, чем алюмосиликаты. Феррисиликаты образуются в особенных случаях, например, эгирины или эгирин-авгиты в жильных породах или в нефелиновых сиенитах. Вообще в минералах магм феррисиликаты встречаются лишь в изоморфных смесях. В метаморфических оболочках феррисиликаты гораздо более распространены.

Многочисленные ювенильные окисленные минералы железа — не кремневые — играют иногда господствующую роль в истории F, W, Nb, Ta, Cr, а особенно Ti.

Таким образом, из четырех господствующих в земной коре химических элементов, почти весь алюминий, огромная часть кислорода и очень большая часть железа находятся в геохимических циклах кремния.

5. Алюмо- и феррикремневые ангидриды.

Это явление объясняет громадную массу алюмосиликатов и феррисиликатов, встречаемых нами в земной коре. Алюмосиликаты и феррисиликаты образуют гораздо больше половины этой коры, несомненно, более 70% ее общей массы.

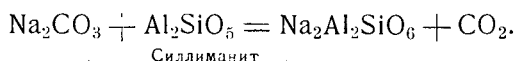
Самый важный факт их химического строения — это химическая функция алюминия и окисла железа, в них заключающегося. Химическое строение шпинелей и магнетитов, образующихся при тех же термодинамических условиях, при каких выпадают алюмосиликаты и изоморфные смеси феррисиликатов, повидимому, не возбуждает сомнений. Их считают средними солями полоторных окислов, изоморфного ряда: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , Mn_2O_3 , Ti_2O_3 . Это изоморфные смеси, кристаллизующиеся в октаэдрах, солей: MgAl_2O_4 , FeAl_2O_4 , MgFe_2O_4 , FeFe_2O_4 и т. д.

Никто не спорит, что полоторные окислы играют при этом роль ангидридов. А, между тем, очень часто приписывают им же роль оснований в их соединениях, образующихся одновременно со шпинелями и магнетитами — в алюмосиликатах и феррисиликатах. Так, например, соединение глинозема и кремнезема —

Al_2SiO_5 — рассматривают как алюминиевую соль кремнезема, принимают за простой алюминиевый силикат.

Очевидно, однако, что химические свойства этих «простых силикатов» алюминия совершенно иные, чем свойства других простых и двойных кремневых солей. Они обладают свойствами сложных ангидридов. Они соединяются с основаниями, давая с ними соли, и могут заменить в их солях ангидрид многих других кислот.

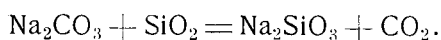
Так, например:



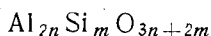
Силлиманит



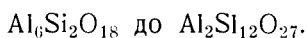
Эти реакции вполне аналогичны действию простых ангидридов на соду, например:



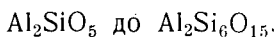
Связь между кремнием и алюминием остается в этих реакциях нетронутой, и их соединения можно считать алюмокремневыми ангидридами, имеющими следующую формулу:



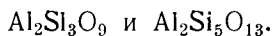
Они обыкновенно существуют лишь в форме солей. Изучение этих солей позволяет установить существование в земной коре ряда сложных ангидридов алюминия и кремния, начиная от



Их производные иногда бывают редкими минералами. Наиболее распространенные и наиболее обычные минералы наблюдаются в пределах этого ряда, начиная от



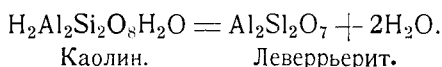
Однако, и здесь некоторые ангидриды представлены немногими солями, или формулы этих солей возбуждают сомнения, таковы ангидриды



Известно несколько свободных сложных ангидридов. Между ними наиболее важны две группы: Al_2SiO_5 — полиморфная группа силлиманита и Al_2SiO_7 — группа леверрьерита, которая содержит в природных условиях более или менее

большое количество лябильной воды; эта вода почти не меняет свойств леверрьерита и выделяется при температуре ниже 300° Ц. 289

Силлиманит—фреатический или ювенильный минерал, очень часто продукт метаморфизма глин, леверрьерит — минерал, который только начинают находить в осадочных породах. Давно открытый впервые М. Термъэ, он считался редким минералом. Уирри и Ларсен в своих недавних исследованиях относят его к группе минералов, обладающих особыми химическими свойствами. Минералы этой группы многочисленны в земной коре. Леверрьериты, вероятно, соответствуют продуктам метаморфизма глин, сопровождаемого потерей воды: 290 291 292 293 294



Может-быть, существуют еще несколько сложных ангидридов, редких минералов, но в общем можно сказать, что сложные свободные ангидриды, не связанные с окислами металлов, не могут быть сравниваемы по своему изобилию со свободным ангидридом SiO₂, который один образует 12,8% массы коры. 295

Свободные железокремневые ангидриды неизвестны. В общем они гораздо менее устойчивы, так же как соответствующие им соли и кислоты. Известны производные железокремневых ангидридов, рядов от FeSiO₅ до Fe₂Si₆O₁₅, но продукты, соответствующие ангидридам, более богатым кремнием, чем Fe₂Si₄O₁₁, очень редки.

Так, мы видим, что сложные свободные ангидриды алюмокремневые и железокремневые находятся лишь в особых случаях в земной коре. Совершенно иное значение имеют их соединения с водой, их гидраты, кислоты.

6. Вода в земной коре.

Различие в распространенности ангидридов и гидратов сложных кремневых тел частью связано с огромной ролью воды в химии земной коры, частью с ее химическими свойствами. Вода кладет свой отпечаток на всю историю кремния.

Вода — химическое соединение, играющее в земной коре совершенно исключительную роль.

Самая большая масса воды сосредоточена в гидросфере, но ее количество в других частях коры не ничтожно.

296 Следующие числа дают об этом понятие:

Количество воды океанической (не считая растворенных солей)	} 1,4 × 10 ¹⁸ метри- ческих тонн.
Количество воды и льдов суши	
	} 4,0 × 10 ¹⁵ метри- ческих тонн

Но это количество воды представляет лишь преобладающую часть всей воды земной коры. Количества ее порядка 10¹⁷ тонн сосредоточиваются в состоянии окклюзии, или физического поглощения, или в состоянии химических лабильных соединений в твердом земном веществе. Нет породы, не заключающей воды в этих еще мало известных состояниях. Самые глубокие магмы содержат большие количества воды в состоянии перегретого пара или в горячих растворах кремнезема и воды, находящихся под давлением, известных нам лишь очень приблизительно. Каждое вулканическое извержение приносит более или менее большое количество ювенильной или фреатической воды; та же вода преобладает в большинстве горячих источников. Вулканические породы, богатые стеклом, всегда богаты водой лабильной, связанной с аморфными соединениями кремнезема. Вязкая магма обычно не есть расплавленная силикатовая масса, она всегда содержит воду.

Мы везде видим, что минералы глубин земной коры образуются в присутствии воды, часто захватывая ее в свои молекулярные структуры. Минералы пегматитов, слюды и роговые обманки массивных пород, большое количество фреатических минералов метаморфических сланцев содержат в конечном счете миллионы тонн конституционной воды.

Однако, количество такой воды, как бы оно ни было велико, — меньше количества свободной воды во всемирном Океане.

Все количество водорода в земной коре приблизительно соответствует 1%, т.е. 2,0 — 2,2 × 10¹⁷ тонн; часть этого водорода свободна или связана в водородистых соединениях, как, например, в углеводородах. Но если бы даже мы их не приняли во внимание и рассматривали весь земной водород входящим в состав воды, масса этой воды не превысила бы 1,8 — 2,0 × 10¹⁸ метрических тонн. Эта масса сравнима с массой воды во всемирном Океане, равняющейся 1,35 — 1,5 × 10¹⁸ метрических тонн.

Таким образом, помимо гидросферы, в земной коре (16 километров толщиной) может заключаться самое большое $4,5 \times 10^{17} - 5 \times 10^{17}$ метрических тонн воды.

Застывшие породы, высушенные при 100° Ц, согласно последним определениям Ф. Кларка и Г. Вашингтона, содержат в среднем 1,15% H_2O , что соответствует $2,0 - 2,2 \times 10^{17}$ метрических тонн. Приблизительно такое же количество воды должны дать метаморфические породы (конституционная вода), магмы (вода, не сохраняющаяся при их застывании в плутонических породах), водородные, не кислородные соединения (если их перевести на воду) и т. д.

Исключительная важность явления, отсюда вытекающего, очевидна.

Вода сосредоточена только в поверхностном слое не всей планеты, но ее верхней оболочки, земной коры. Большая часть этой воды находится в свободном состоянии или очень слабо связана с другими химическими атомами. Несомненно, эта свободная вода образует гораздо больше 75% той, которая могла бы находиться в земной коре, так как чистая вода Океана одна соответствует 67,5—83,3% воды, которая бы заключалась в земной коре, если бы весь ее водород находился в форме воды.

Другой факт не менее важен. Почти весь водород области геохимических круговых процессов, связанной с кислородом, находится в виде воды. Мы знаем, что вода, освобождающаяся при нагревании силикатов и алюмосиликатов (иногда лишь при яркочерном калении), существовала как таковая в магмах. Магма не представляет из себя массу расплавленных силикатов и алюмосиликатов, это их тесная смесь с перегретой водой и с газами; многие алюмосиликаты и силикаты образуются только во время кристаллизации и затвердевания жидких масс, богатых водой, например, минералы пегматитов и кремнеземные стекла вулканических пород. Мы так мало знаем условия существования кремнеземных магм, проникнутых водой, находящихся под большим давлением, что едва ли правильно придавать большое значение довольно распространенным воззрениям о том, что вода в этих магмах разложена на свободные водород и кислород (гремучий газ). Присутствие в газах вулканов H_2 , H_2S , HCl можно было бы считать указанием на такое разложение, но, с другой стороны, все указания на ювенильный свободный кислород вулканических выделений сомнительны.

Исключительное значение воды в свободном состоянии давно обратило внимание ученых и философов на соотношение в земной коре между свободной водой и водой, входящей в соединения физические (абсорбция) или химические.

Очевидно, что вода, входящая в соединения, имеет лишь второстепенное значение в структуре планеты. Если б вся вода биосферы вступила в соединения, жизнь на земной поверхности уничтожилась бы. Древние теории, постоянно вновь возникающие, предсказывают подобный конец нашей планеты. Уже великий немецкий философ и ученый Э.м. Кант более 170 лет назад предвидел возможность подобного будущего для нашего земного шара,—он полагал, что в результате медленных постоянно идущих процессов на нашей планете неизбежно наступит время, когда все неровности земной поверхности сгладятся, а вода вступит в соединения физические или химические. На современном языке идея Канта соответствует одновременному проявлению двух различных геологических явлений: 1) образованию пенемены, общей для всех континентов, и 2) химическому или физическому поглощению всей воды, находившейся в свободном состоянии. Та же идея входит в некоторые новые космогонии, как, например, в космогонию Лоуэлла, основывающего свои представления на наблюдениях формы поверхности других планет, в частности Марса, которую он считает более древней планетой (согласно Лапласовской космогонии), достигшей уже тех стадий, к которым в свое время придет и наша планета.

По его мнению, с ходом времени количество свободной воды на земной поверхности уменьшится; земля постепенно высыхает, теряя также часть своих газов в небесном пространстве.

В этих представлениях смешаны глубоко различные процессы, наблюдаемые в истории воды. С одной стороны, вода принимает участие в бесконечном числе геохимических круговых процессов, первичных или вторичных, с другой стороны, она может вступить в химические необратимые процессы; эти последние, правда, очень мало изучены. Однако, такие процессы действительно существуют, например, в верхних частях нашей планеты. Частицы воды, попадая в стратосферу, повидимому, выходят из геохимических циклов и в них не возвращаются (стр. 83).

Вода играет большую роль во многих обратимых геохимических круговых процессах. Мы это, например, видели для марганца, вадозные минералы которого очень часто дают гидраты, между тем как фреатические и ювенильные минералы являются безводными. Аналогичные явления наблюдаются в многочисленных первичных круговых процессах химических элементов.

Ясно, что геохимические циклы — первичные и вторичные — постоянно возобновляющиеся, не могут вызывать явлений планетного высыхания. Количество воды, вступающее в соединения, всегда компенсируется той ее массой, которая освобождается в свободном состоянии.

Каждый геохимический цикл образован рядом устойчивых равновесий, в конце концов возвращающихся в первоначальное состояние. Таким образом, количество воды, находящейся в соединении, как и воды в свободном состоянии, должно оставаться приблизительно равным.

Геологическое изучение больших движений, совершаемых океанами на земной поверхности, трансгрессий морей и евстатических движений Зюсса в течение всего геологического 301 времени, начиная от кембрийской эры до наших дней, изучение, являющееся одним из крупных завоеваний геологии XIX—XX веков, не дает никаких указаний на уменьшение массы океанической воды. Повидимому, количество соленой морской воды остается более или менее неизменным в течение сотен миллионов лет. Мы наблюдаем лишь движения воды, сопровождаемые изменением уровня, грандиозные колебания — переливания единой жидкой массы — всегда одинаковой — на земной поверхности. Ярко выраженные в геологическом времени трансгрессии и регрессии моря на территории Европейской части Союза, впервые выявленные А. П. Карпинским, и общее учение о трансгрессиях, 302 выработанные Э. Зюссом, вполне отвечают представлению о неизменности массы воды в земной коре, в геологическом времени. Моря трансгрессий представляют как бы всплески всемирного океана, масса которого неизменна и место которого в механизме планеты также неизменно, так как строение всей земной коры под ним резко иное, чем под континентами. 303

Зюсс допускал возможность увеличения массы воды на земной поверхности; он предполагал существование постоянного притока на земную поверхность новой, ювенильной воды из глубин земли, через вулканы и минеральные источники, но термы 304

и вулканы — так же как кремнеземистые магмы — поверхностные явления нашей планеты; они вообще не переходят за пределы земной коры и даже ее более наружной оболочки—литосферы. Вода, возвращающаяся этим путем на земную поверхность—ювенильная только с точки зрения той термодинамической оболочки, из которой она выходит; в действительности она принимает участие в обратимом геохимическом процессе. Она в конце концов атмосферного происхождения.

305 Даже идея Зюсса о «Панталассе» — об единой сплошной гидросфере — в сущности не противоречит постоянству массы воды на поверхности нашей планеты и даже постоянству массы воды в океане.

Таким образом, количество свободной земной воды, неизменное в течение геологического времени, подвергается лишь вековым колебаниям, которые компенсируются. Среднее количество ее остается неизменным. Мы наблюдаем здесь явление, общее для всех постоянных динамических равновесий. Подобно массе кислорода и масса воды также—характерная постоянная нашей планеты.

Огромное значение воды для сохранения жизни противоречит гипотезе о засыхании планеты в течение геологического времени.

С одной стороны, живое вещество необходимо для существования основных первичных геохимических круговых процессов химических элементов, постоянно возобновляющихся и возвращающихся к исходному состоянию.

С другой стороны, живое вещество собирает в земной коре солнечную энергию.

306 Высыхание коры, нарушая эти функции жизни, не может являться состоянием его равновесия. Оно ему противоречит.

В биологии начинает проявляться очень интересное течение мыслей, выраженное в эти последние годы с большей яркостью и глубиной американским физиологом Л. Гендерсоном. Он не только доказал неразрывную связь воды с проявлениями жизни, но установил, что среди бесчисленных известных химических соединений положение воды исключительное. Это соединение в силу своих физических и химических свойств наиболее благоприятное существованию жизни. Ни одно из известных химических соединений не может с этой точки зрения даже издалека быть сравниваемо с водой. Одна вода благодаря своим свойствам предназначена для жизни.

Мы здесь в новой форме находим как-бы возрождение старых телеологических идей первой половины XIX в., — идей о всеобщей естественной гармонии — идей о порядке, не являющейся результатом случая.

«В мире, — говорит Л. Гендерсон, — как его описывает современная наука, живет организм, определенно приспособленный к прилаженной ему среде, главной и первенствующей частью которой является вода...».

307

«Вода сама по себе, какой она создана космической эволюцией, прилажена ко всем явлениям жизни, и ее прилаженность не менее удивительна и многостороння, чем прилаженность организма, достигнутая его приспособлением в течение всей органической эволюции».

308

Это, однако, не телеология. Это факт, факт огромной важности для изучения и понимания жизни, новое указание на то, что земная кора не есть случайное скопление косной материи, но есть сложный и правильный механизм. Процесс выявления жизни, повидимому, тесно связан с земной корой, имеет корни в явлениях, издавна предшествовавших не только расцвету жизни, но геологическому образованию самой коры. Корни эти начинают искать в атомном строении земной коры.

7. Коллоиды в земной коре.

Часто думают, что вода необходима для жизни в виду ее необходимости для образования коллоидов, потребных для процессов жизни. Без воды нет коллоидов, без коллоидов нет процессов жизни. В силу преувеличения, столь свойственного человеческой мысли, начинают искать в коллоидальном состоянии материи разгадку жизни.

309

Но коллоидальное состояние материи не — исключительная принадлежность явлений жизни. Это характерное состояние верхней термодинамической земной оболочки, всей ее материи, не только соединений водорода, кислорода, азота, углерода, необходимых для жизни, но и в не меньшей степени соединений кремния. И эти кремневые коллоиды гораздо более распространены и находятся в больших количествах в земной коре, чем коллоиды живого вещества.

310

Утверждая, что жизнь, жизненные процессы сосредоточены в коллоидальных системах, мы просто констатируем, что жизнь

проявляется в верхних областях земной коры, где коллоидальные системы устойчивы.

311, 312 На значение коллоидов в земной коре было указано гораздо
313 ранее исследований, сделанных итальянцем Ф. Сельми и шотландцем Т. Грехамом, которые 60—80 лет назад наметили основные черты современных идей о коллоидальном состоянии материи. Но только после их работ представления эти вошли в научное сознание.

314 Н. Фукс в Баварии в начале XIX в. первый ясно отметил природные коллоидальные вещества — аморфные минералы — и выявил их значение.

315 Несколько позже Брейтгаупт, один из крупнейших минералогов того времени в Фрейберге (в Саксонии) доказал, что это всегда минералы земной поверхности, вадозные минералы, как мы говорим теперь.

Эти старинные работы, содержащие много интересных, не охваченных и по сейчас научной мыслью, наблюдений, долго оставались незамеченными, и лишь в XX в. молодой австрийский ученый Ф. Корну, столь преждевременно утраченный для науки, понял всю их важность и ввел эти минералогические наблюдения в рамки новой науки о коллоидах. Он первый доказал, что коллоидальные минералы характеризуют кору выветривания и не встречаются ни среди фреатических, ни среди ювенильных минералов. Они устойчивы лишь в биосфере.

316 Наши сведения о коллоидах еще очень шатки. Однако, литература, им посвященная, огромна. С начала XX в. коллоиды обратили на себя усиленное внимание. Но полученные результаты не соответствуют сделанной работе. Самые принципы объяснения явлений сомнительны. Многочисленные попытки отнести их к химическим процессам остались тщетными. Несомненно, что коллоиды можно рассматривать как промежуточные состояния между механическими мутями в жидкостях и жидкими растворами. В коллоидах мы видим проявление свойств более мелких частиц материи, чем взмученности видимой глазом пыли, и более крупных, чем ионы или молекулы растворов. Но между ними есть все переходы, как показал
317 П. Е. фон Веймарн, выделивший коллоиды как дисперсные системы, элементы которых (зерна — мицеллы) отвечают размерам, превышающим размеры молекул ($n \times 10^{-7}$ см). Чем ближе эти тончайшие зерна к размерам молекул, тем ближе

между собой свойства водных коллоидов (водных мутей, где муть состоит из таких зерен) и водных растворов. Чем больше размеры этих зерен, тем ближе они к механическим, взмученным водам (10^{-4} см и больше).

В природе мы почти всегда встречаем водные коллоиды, так же как водные мути и растворы. Эти системы всегда неустойчивы, мало-по-малу теряют свою воду и превращаются в массы аморфных гелей, иногда совершенно безводных.

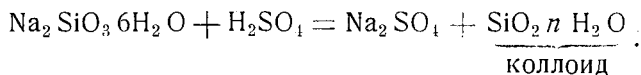
Как показал П. Е. фон Веймарн, для химически чистых соединений мельчайшие мицеллы всегда имеют кристаллическое сложение.

Водные коллоиды могут образовываться только в случае полной нерастворимости в воде вещества их мицелл.

8. Вода и кремнезем.

Водные природные коллоиды кремнезема обратили на себя внимание со времен Фукса и Брейтгаупта; искусственные кремневые коллоиды были выдвинуты работами Грэхамма. Но их природа нам становится ясной лишь теперь. Г. Ле Шателье доказал нерастворимость кремнезема в воде, чисто коллоидальный характер кремневых кислот и кремневых растворов. Он доказал, что гидраты кремнезема — свободные кремневые кислоты, формулы которых давали и свойства которых изучали, не существуют вовсе. 318

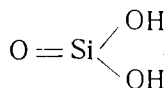
Природные коллоидальные тела этого рода очень распространены и известны под именем опалов, образующих огромные слои, целые горы на земной поверхности. Принимая во внимание условия их образования в природе, а также образования аналогичных продуктов в наших лабораториях, мы должны были бы ожидать выпадения кислот — гидратов кремнезема. Вместо них выпадают коллоиды, напр., в реакции



В биосфере такое разложение — выветривание силикатов идет в огромном масштабе. Главным деятелем является углекислота; она поглощается при этом из воздуха и водных растворов. Этот процесс имеет первостепенное значение в истории углерода.

Для выпадающих при этом гелей и зелей кремнезема характерны два явления: 1) их состав изменчив и 2) он сильно меняется в зависимости от окружающих физических условий или условий химических реакций их образования. Существует огромное количество их разновидностей — все переходы от бедных водой (1—2%, и меньше) твердых опалов до слабых водных «растворов» кремнезема.

Никогда в них нет гидроксильных групп, соединенных с кремнием, как это предполагалось для гидрата H_2SiO_3 :



Всюду мы имеем тела $SiO_2 \cdot nH_2O$, где SiO_2 будет отвечать кварцу.

319 Хотя мицеллы — SiO_2 — геля отвечают кварцу, их свойства не будут совпадать с известными нами свойствами кристаллов кварца. Они гораздо ближе к свойствам халцедона, чем кварца, так как на первое место в них выступают свойства
320 не кристаллических решеток, а поверхностных слоев.

Очевидно, совокупности таких мицелл, тесно проникнутых водой, дают физико-химические системы, свойства которых резко отличны от тончайших сростаний мельчайших кварцевых кристаллов. Строение опалов из таких систем, по крайней
321 мере для большинства их, представляется несомненным. Соответственно, кварц совершенно не растворим в воде.
322

Надо отличать чистые растворы кремнезема и растворы его солей. Последние, повидимому, могут содержать ионы SiO_3^{2-} , первые дают всегда золи и гели SiO_2 .

Для бедных кремнеземом природных вод, пресных вод, судя
323 по работам Диэнера, надо допустить широкое распространение таких ионов. Но это сложные явления, которые, может быть, получают другое объяснение.

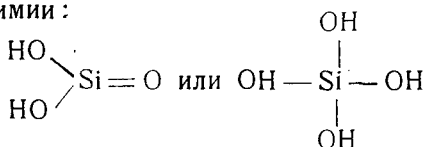
Повидимому, в тесной связи с таким химическим характером кремнезема стоит неустойчивость его солей в биосфере в присутствии воды, кислорода и углекислоты.

В биосфере силикаты исчезают, заменяются карбонатами, сульфатами, хлоридами и т. д. Кремнезем так или иначе выпадает всегда в свободном состоянии или в форме кристаллов кварца или в форме его гелей и зелей.

324 Это не гидролиз, как иногда указывают.

Коллоиды не являются атомными структурами, соответствующими молекулам или ионам. Силы, действующие в этих строениях,—капиллярные, аналогичны наблюдаемым в явлениях прилипания и поглощения.

С химической точки зрения полная нерастворимость кремнезема в воде и легкое образование его коллоидальных соединений с водой доказывают, что группировки, часто указываемые в учебниках химии:



не существуют.

Единственная вадозная устойчивая форма для кремнезема это кварц, — SiO_2 , свободный ангидрид. Другие вадозные минералы кремнезема — халцедон, кварцин и т. д. принадлежат к тому же кристаллическому классу, т.-е. к той же полиморфной разности.

9. Вода и окислы железа и алюминия.

Совершенно иначе относятся к воде комплексные кремневые ангидриды — алюмокремневые и феррикремневые.

Это отличие, вероятно, связано с тем значением, какое имеют входящие в их состав окиси железа и окиси алюминия. Их свойства обычно резко сказываются в свойствах алюмо-и ферри-силикатов. Эти окиси совершенно иначе относятся к воде, чем кремнезем.

Мы имеем для них и коллоидальные системы и гидраты.

В коллоидальных системах, по крайней мере всегда для железа, мицеллы состоят из гидратов. Условия образования чистых гидратов или их коллоидов неизвестны с достаточной точностью; повидимому, однако, реакция определяется температурой и, быть-может, химическим составом среды.

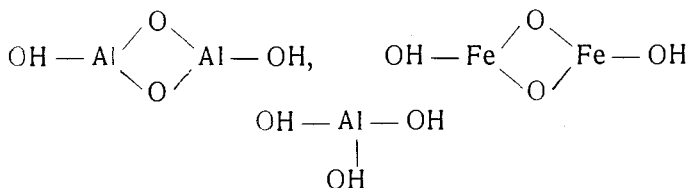
Алюминий дает два кристаллических гидрата — диаспор $\text{AlO}(\text{OH})_2$ и гидраргиллит $\text{Al}(\text{OH})_3$. При определенных земных условиях,—в среде богатой водой, гидраргиллит является самым устойчивым соединением алюминия в биосфере. Обычно, 325 однако, таким телом будут алюмокремневые гидраты.

Для железа в биосфере устойчивы не кристаллические, а коллоидальные гидраты. Из кристаллических гидратов нам

пока и в природе и в лаборатории известна одна полиморфная группа гидрата $\text{FeO}(\text{OH})$ —группа гетита. Это было доказано сперва Е. Позняком, а затем подтверждено дальнейшими работами.

Тот же самый гидрат входит и в состав водных коллоидов гидроокиси железа.

Таким образом, возможны следующие молекулярные группировки:



Одновременно с кристаллическими гидратами в природе чрезвычайно распространены коллоидальные их выделения, при чем для железа устойчивой формой в биосфере является один из таких коллоидальных гидратов — лимонит или бурый железняк. Он скопляется в огромном количестве, и почти все соединения железа, в среде, богатой водой, в него переходят. Мы видели значение его образования в истории марганца.

Химические анализы дают очень часто ему формулу, отвечающую составу $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, которую долго рассматривали как гидрат $\text{Fe}_4\text{O}_3(\text{HO})_6$. Однако, приходится считать лимонит за тело, аналогичное опалам, состава $2\text{Fe}_2(\text{OH})_2\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Вполне возможно, что часть лимонитов окажется действительно водным соединением гетита этой формулы, а не коллоидом. Это по крайней мере вероятно для кристаллических разновидностей лимонита, физические свойства которых (правда, плохо изученные) отвечают телам группы гетита. Возможно, что вода частью растворяется в сетке гетита. Если существуют тела состава $\text{Fe}_2\text{O}_2(\text{OH})_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$, может-быть, они явятся мицеллами коллоидальных разновидностей. Как бы то ни было, характерно отсутствие для железа других гидратов, кроме $\text{Fe}_2(\text{OH})_2\text{O}_2$ (гр. гетита) даже при наших синтезах.

Коллоиды гидратов железа получаются легко,—они все переходят неизменно (в биосфере) в гетиты или кристаллические «лимониты».

Для алюминия в его коллоидах характер мицелл не ясен, может-быть, это не гидрат $\text{Al}(\text{OH})_3$ (группа гидраргиллита).

Для алюминия существование коллоидальных форм также доказано изучением физико-химических их свойств.

327

10. Алюмокремневые гидраты. Глины.

Алюмокремневые ангидриды по своему отношению к воде ближе к гидратам окиси алюминия, чем к кремнезему.

Существует несколько рядов алюмокремневых гидратов, отвечающих сложным кислотам.

Два из этих рядов хорошо известны. Один из них, более бедный кремнеземом, соответствует силлиманиту, ангидриду Al_2SiO_5 . Он довольно редок в чистом состоянии и не образует больших масс в земной коре. В кристаллическом состоянии он дает прозрачные минералы, твердые, с большим показателем преломления, как, например, топаз (изоморфная смесь кислоты HAl_2SiO_6 и окси-фтористого ангидрида $Al_2SiO_4F_2$, или зунит (гидрат, более богатый водой, содержащий Cl и F)).

328

Гораздо большее значение имеет другой ряд гидратов, богатых кремнеземом. Это одна из самых важных групп в истории кремния, алюминия, водорода, кислорода. Эта группа захватывает большую часть или даже все глины, которые таким образом должны быть рассматриваемы как свободные алюмокремневые кислоты.

В кристаллическом состоянии это мягкие минералы, мелкие кристаллы, тоненькие гексагональные пластинки, своими физическими и кристаллографическими свойствами, напоминающие белую слюду, например, каолин — $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$.

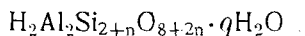
В коллоидальном состоянии глины дают часто пластические, иногда землистые, массы.

Я буду называть каолиновыми глинами чистые минералы определённого химического состава, в котором всегда можно отличить группу элементов $H_2Al_2Si_2O_8$. Обычная глина почти всегда их содержит, хотя, к сожалению, геологи называют иногда глиной тела определенной физической структуры — землистые, мягкие, пластичные во влажном состоянии, которые состоят не только из каолиновых глин, но из разных других, близких по физическим свойствам, трудно отличимых без специального исследования, мельчайших минералов. Возможно, что существуют глины, содержащие алюмокремнистые гидраты иного, не каолинового, строения.

329

330

Формула каолиновых глин может быть представлена в общей форме, как:



где q иногда $= 0$ и n обычно $= 0, 2, 4$.

Среди кристаллических каолиновых глин известны:

$\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{H}_2\text{O}$	Каолин.
$\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$	Пирофиллит.
$\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}6\text{H}_2\text{O}$	Термьерит.

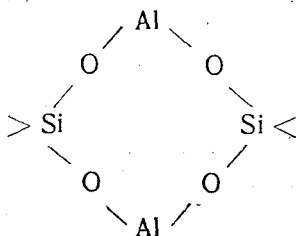
Из указанного раньше отношения к воде алюминия и кремния следует, что гидроксилы (HO) в алюмокремневых гидратах должны быть соединены с атомами алюминия, а не с атомами кремния.

В отвечающих глинам минералах должны существовать молекулярные группировки Al—OH, а не Si—OH, так как они образуются при тех же условиях, как и алюминиевые гидраты (с группировкой Al—OH) и опалы — коллоидные системы кварца в мицеллах и воды, не дающие группировок Si—OH.

Каолиновые глины часто принимают за кислые кремнекислые соли алюминия. Однако, существование таких солей очень мало вероятно, в виду указанной выше полной неустойчивости кремневых кислот.

Это объяснение к тому же находится в прямом противоречии с основными фактами как химии алюмосиликатов, так и геохимической истории кремния и алюминия.

Данные химии алюмосиликатов и история этих тел в земной коре дают основание придавать каолиновым глинам и всем их производным одно и то же строение, в котором характерно нахождение одного и того же прочного кольцевого ядра атомов.



Это ядро я буду называть каолиновым ядром (стр. 116). Мы увидим, что образование и существование каолиновых ядер имеет большое значение в геохимических процессах.

Если мы допустим, что глины являются сложными кислотами, — что вытекает из соображений, не связанных с природными процессами, — вся история кремния и алюминия в земной коре может быть представлена в виде единого процесса.

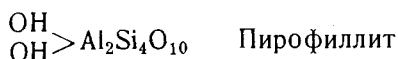
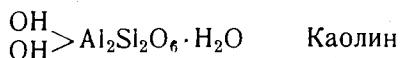
Металлические силикаты и алюмосиликаты, устойчивые в глубинах земной коры, на поверхности ее превращаются в соли других кислот, прежде всего в карбонаты, очень стойкие в среде биосферы. Вместе с тем их кремнеземистые и глиноземистые остатки дают гидратные соединения: гидраты и коллоиды, окиси алюминия (бокситы, гидраргиллиты), коллоиды кремнезема (опалы), гидраты алюмокремневых ангидридов и коллоиды (каолиновые глины).

Таким образом, в результате действия воды и угольной кислоты все соединения кремнезема и глинозема по прошествии некоторого времени разлагаются на земной поверхности. Они теряют свои металлы, давая карбонаты или другие соли; они заменяют входившие в их состав окиси водой. Образование карбонатов, карбонатизация — химический обмен между SiO_2 и CO_2 в их соединениях — один из самых важных процессов в механизме биосферы.

Он поглощает огромные количества угольной кислоты из атмосферы и определяет геохимические циклы углерода (стр. 209). Его значение видно, например, из того факта, что метрический куб ортоклаза ($\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$) или альбита ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$) для превращения в каолин ($\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$) поглощает 200 килограммов CO_2 , и что слой каолина в 100 метров требует для своего образования массу этого газа, в 4,2 раза превышающую общую массу всей угольной кислоты, существующей в атмосфере. 331

Представление о каолиновых глинах, как о кислых солях кремнезема, не дает нам единого представления об этих явлениях, могущего заменить е д и н о е химическое объяснение разнообразных процессов, сюда относящихся, которое дается теорией каолиновых комплексов.

Согласно этой теории, каолиновые глины могут быть выражены следующими формулами:

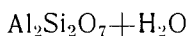


Во всех случаях в этих телах находится каолиновое ядро (стр. 116).

Коллоидальные формы каолиновых глин гораздо более распространены, чем их кристаллические разновидности: они образуются в биосфере и являются господствующими или существуют исключительно в почвах наших климатов, они образуются в областях богатых «гуминовыми кислотами» и в болотах.

Строение этих коллоидов не всегда известно. Это, несомненно, алюмокремневые тела и, повидимому, их мицеллы в большинстве случаев образованы из мельчайших кристалликов алюмокремневых гидратов, например, $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (или $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{H}_2\text{O}$ — каолин) в галлуазитах. ($\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — приблизительно).

Возможно, однако, что существуют коллоиды другого строения:



где мицеллы образованы из алюмокремнистых ангидридов.

Повидимому, такие тела могут давать леверрьериты и аналоги, о которых упоминалось раньше (стр. 98).

Каолиновые глины играют большую роль в строении верхней оболочки земного шара. Мы их всюду встречаем в верхних слоях земной коры, в глинах, в конгломератах, в сланцах, в почвах и подпочвах, в лёсе; они всюду находятся в изобилии, часто образуя главную часть осадочных пород. Они собираются в детритах ледников, на дне озер, болот, в дельтах рек. Они образуют илы дна океанических глубин и покрывают в еще больших количествах безграничные равнины континентов. Они образуют большие отложения последних оледенений Евразии и Северной Америки — Гренландии. Из состава осадочных пород, по определению Ф. Кларка, следует, что количество каолиновых глин не может превышать 1% общей массы земной коры. Однако, эти определения, повидимому, слишком низки. Ф. Кларк и другие американские ученые, как, например, К. Ван Хайз, занимавшиеся теми же вопросами, несомненно, недооценивали количество глин, принимая во внимание лишь физико-географические условия Северной Америки. Осадочные слои Евразии, русского плато и Сибири производят совершенно иное впечатление. Можно вывести из недавних определений проф. В. Н. Чирвинского в Киеве, основанных на исследованиях и идеях проф. П. Я. Армашевского, что количество каоли-

новых глин гораздо больше, нежели это предполагали Ф. Кларк и К. Ван Хайз. В. Н. Чирвинский получил для серии пород, слагающих земную кору в Киеве (400 метров), около 14, 3% каолиновых глин.

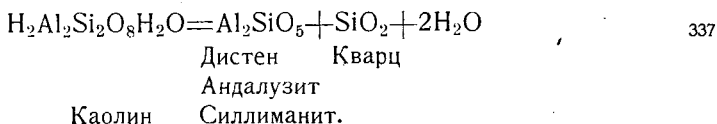
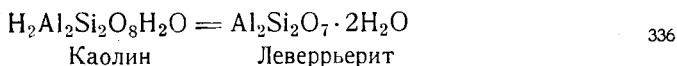
Но для наших выводов более общие данные Ф. Кларка и Ван Хайза достаточны. Они показывают порядок явления. Каолиновые глины по весу дают массы того же порядка (и, вероятно, их превосходят), отвечают весу всего земного водорода, входящего в состав воды, или всего живого вещества биосферы. Их масса без сравнения больше массы всех руд тяжелых металлов, за исключением, может-быть, железа.

Значение процессов образования глин, несомненно, велико с точки зрения теплового режима земли. Алумосиликаты — соединения эндотермические. Во время их разложения на земной поверхности происходит освобождение тепла, количество которого не ничтожно. В среднем превращение (гранитной) породы в глины сопровождается выделением 120 калорий на 1 грамм, — количество огромное, большей частью отвечающее образованию каолиновых глин. 335

Это поверхностные реакции. Обратные процессы начинаются уже на небольших глубинах. Каолиновые глины дают новые соединения и поглощают тепло. Вероятно, здесь существует равновесие: поглощается и выделяется приблизительно одинаковое количество тепла.

Можно различить две формы превращения глин. Они превращаются в ангидриды или в соли.

Первый процесс может быть представлен, например, следующими формулами:

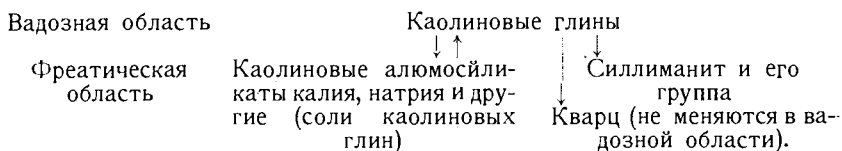


Эти превращения вызываются в природе нагреванием, может-быть, давлением. Однако, несомненно, что потеря воды связана с химическими процессами.

Гораздо обычнее более глубокое превращение глин: они дают алумосиликаты. Это те же каолиновые алумосиликаты,

которые на земной поверхности превращаются в каолиновые глины.

Мы здесь видим первичный, отчасти, замкнутый цикл:



11. Каолиновое ядро и каолиновые алюмосиликаты.

Изучая алюмосиликаты, дающие каолиновые глины на земной поверхности, мы ясно видим, что это всегда алюмосиликаты особого строения.

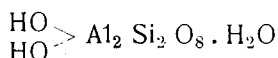
Описаны были тысячи случаев подобного превращения, и они все получают достаточное объяснение с точки зрения представления об алюмосиликатах, как производных алюмокремневых комплексов. Эти процессы непонятны, если рассматривать глины как кислые соли кремневых кислот.

Алюмосиликаты, превращающиеся на поверхности в каолиновые глины, имеют то же химическое строение, что и эти глины. Строение же алюмосиликатов, не дающих каолиновых глин, совершенно иное.

Это эмпирическое обобщение может быть проверено огромным количеством фактов. Оно дает нам удобный и верный способ для исследования молекулярного строения алюмосиликатов.

Изучая отношения между различными каолиновыми глинами, исследуя их в наших лабораториях или наблюдая их изменения в природе, можно убедиться, что все они превращаются или могут быть превращены в каолин.

Можно, таким образом, считать каолин



представителем всех каолиновых глин. Он вместе с тем, по видимому, самый устойчивый из кислот, которым отвечают в верхней термодинамической оболочке земной коры каолиновые алюмосиликаты.

Очень характерно, что наиболее важные и распространенные группы ювенильных алюмосиликатов дают глины — каолин —

на земной поверхности. Между всеми первичными алюмосиликатами массивных пород одна лишь группа мелилита и геленита представляет исключение и никогда не дает каолиновых глин; она должна иметь совершенно иное строение. Это, вероятно, продукт присоединения к ортосиликатам.

Среди фреатических минералов многие алюмосиликаты идентичны с теми, какие мы встречаем в изверженных породах; они все дают каолиновые глины на земной поверхности. Существуют, однако, фреатические алюмосиликаты в кристаллических сланцах — алюмосиликаты железа и магния, отчасти кальция — никогда не встречающиеся в свежих изверженных породах и не дающие каолиновых глин на земной поверхности. Таковы, например, различные хлоритоиды и хлориты; оттрелит, хлоритоид, маргарит, пеннины, клинохлоры, так же как ставролит, призматин и т. д. Их строение иное (стр. 130).

Таким образом, повидимому, самая большая часть алюмосиликатов, почти все алюмосиликаты массивных пород и значительная часть кристаллических сланцев имеют строение, тождественное с каолином. Они одни, несомненно, образуют большую часть земной коры, гораздо больше ее половины.

Эти каолиновые силикаты образуются во время застывания магм при высокой температуре, часто при высоком давлении. При тех же условиях они осаждаются во фреатических областях. Они образуются в них также при более низкой температуре, выделяясь из водных растворов, во время химических реакций при высоком давлении и в присутствии водных паров. Это так называемые гидротермальные минералы.

Повидимому, температура при их образовании не должна быть очень высокой. Синтетические опыты указывают, что минимальные температуры, при которых образовывались каолиновые алюмосиликаты, отвечают приблизительно 170—200° Ц. В 1862 г. С.-Клер-Девиль первый воспроизвел при этой температуре каолиновый алюмосиликат, один из цеолитов, Левин (хабазит) — действием алюминатов на силикаты в водном растворе. Более поздние работы не понизили эту температуру. Однако, ничто нам не доказывает, чтобы мы находились на границе поля образования каолиновых алюмосиликатов. Очень характерно, однако, что точные факты их образования при низкой температуре биосферы отсутствуют.

Все эти каолиновые алюмосиликаты, так же как каолиновые глины, образовавшиеся из них при их разложении под влиянием атмосферных агентов — воды, угольной кислоты, кислорода, содержат один и тот же алюмокремневый комплекс, остающийся неизменным во время всех многочисленных разнообразных химических реакций.

Это тот остаток, который я назвал каолиновым ядром (стр. 114).

Его простейшим выражением является:



и простейшая, ему отвечающая, кислота или соль будет $\text{R}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, где $\text{R}_2 = \text{H}_2, \text{Na}_2, \text{K}_2, \text{Li}_2, \text{Ba}, \text{Ca}, \text{Mg}$ и т. д.

Это ядро имеет особенное строение, оно остается неизменным во время многочисленных химических реакций этих алюмосиликатов. При высокой температуре оно очень устойчиво и образуется в результате простого взаимодействия соответствующих окислов (идет синтез каолинового ядра). Самая низкая температура, установленная для его синтеза равна 170°C . (при высоком давлении); вероятно, она еще ниже. При температуре земной поверхности каолиновое ядро не образуется.

Это, по видимому, эндотермическое тело, и оно не образуется вне земных областей, обладающих большими запасами свободной энергии.

Все вадозные материалы с каолиновыми ядрами — продукты преобразования минералов с каолиновыми ядрами, созданными уже раньше в фреатических или ювенильных областях.

Таким образом, все алюмосиликаты, превращающиеся в каолиновые глины и происходящие из их обратного превращения имеют одно и то же каолиновое ядро, одинаковое для всех, очень устойчивое, сохраняющееся миллионы лет и встречаемое частью неизменным в тысячах химических соединений.

Здесь не место останавливаться подробно на строении каолинового ядра и на вопросах теории алюмосиликатов.

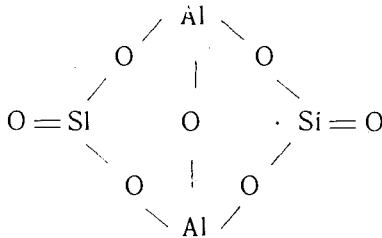
Существование этого устойчивого комплекса есть факт, который останется неизменным даже, если современные теоретические объяснения его строения подвергнутся изменению.

Но все же необходимо подчеркнуть, что такая устойчивость лучше и проще всего объясняется существованием кольцевого строения. Мы имеем в таком случае явление очень

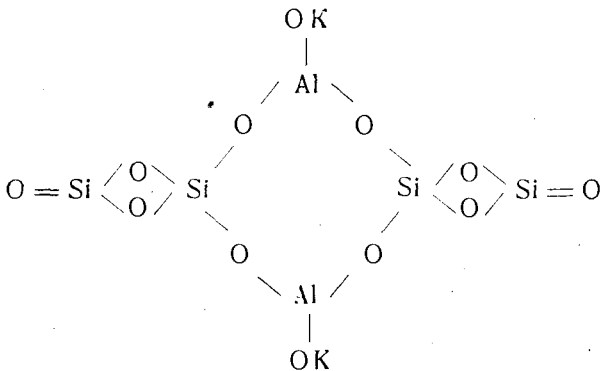
обычное для целого ряда природных соединений (см. нефти, стр. 162).

Придавая каолиновому ядру такое кольцевое строение, мы находим его в самых разных химических телах, сюда относящихся

Таков ангидрид $Al_2Si_2O_7$ — (леверрьерит)



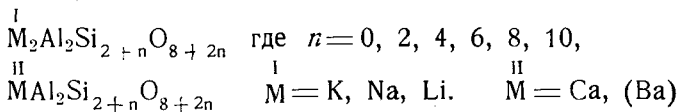
или калиевая соль кислоты $H_2Al_2Si_4O_{12}$ — лейцит — $K_2Al_2Si_4O_{12}$



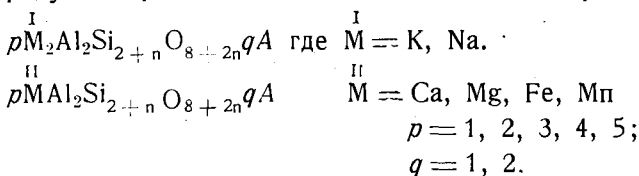
Оставляя в стороне все частности, остановимся на строении алюмосиликатов только, поскольку это необходимо для нашей цели — геохимической истории кремния.

Можно подразделить все каолиновые алюмосиликаты на два ряда аналогичных соединений.

I. Простые соли алюмокремневых кислот, иногда их гидраты.



II. Продукты присоединения к солям иногда гидраты:



Продукты присоединения являются сложными соединениями, свойства которых определяются каолиновым ядром. Химические элементы, не входящие в это ядро и образующие в структуре тела особую группу А, лишь очень незначительно изменяют химические свойства соединения.

Химический состав группы А очень изменчив и может быть выражен простыми молекулярными химическими формулами, он может включать атомы алюминия и кремния.

Характер его связи с каолиновым ядром не изучен. Эта связь достаточно глубока, чтобы свойства соединения, отвечающего группе А, не проявлялись, (например, когда А соответствует NaCl, свойства NaCl не могут быть открыты в соединении), но вместе с тем она недостаточна, чтобы изменить реакции каолинового ядра.

346 В природных каолиновых алюмосиликатах наблюдаются очень различные молекулярные комплексы, например: NaCl, NaHSO₄, NaSO₄, Na₂S, NaHS, CaSO₄, CaCO₃, Mg₂SiO₄, Ca₂SiO₄, Ca(OH)₂, H₂O, SiO₂ и т. д.

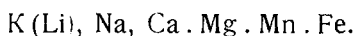
В лабораториях получено большое количество алюмосиликатов, в которых эти группы имеют еще иную формулу, соответствуют солям органических кислот, соединениям Se, Te и т. д.

Такие сложные алюмосиликаты играют важную роль, как ювенильные или фреатические минералы, в геохимической истории углерода, хлора и серы.

Каолиновые алюмосиликаты образуются в магмах одновременно с простыми силикатами, с пироксенами или с перидотами. В них тогда наблюдается очень характерное распределение металлов магмы между каолиновым ядром и простыми силикатами.

347 Это распределение определяется правилом, впервые указанным в 1854 г. Карлом Сент-Клер-Девилем. Алюмосиликаты обыкновенно при этом бесцветны (лейкократы) простые же силикаты часто окрашены, темные (меланократы)

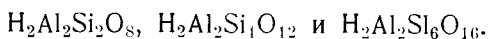
В ряду, установленном Е. Сент-Клер-Девилем:



металлы расположены так, что, считая слева направо, они все меньше и меньше входят в каолиновые ядра, а считая справа налево, они все меньше и меньше входят в простые силикаты. Простых силикатов калия или натрия и каолиновых алюмосиликатов железа или магния нет совсем среди минералов массивных пород.

Каолиновые алюмосиликаты охватывают большую часть вещества магм при их превращении путем застывания в горные породы; минералы, им соответствующие, господствуют в массивных породах.

В них можно различить три алюмокремневых кислоты:



Все три существуют в свободном состоянии (очень часто с избытком воды). Полевые шпаты, слюды, нефелины, сканолиты, лейциты, акмиты, гранаты и т. п. — все ювенильные алюмосиликаты изверженных пород являются солями или продуктами присоединения к солям этих кислот.

Большая часть фреатических алюмосиликатов (например, эпидоты, цеолиты) имеют такое же строение.

Изучение химического строения этих тел, общего им каолинового ядра имеет, очевидно, большое значение, большее впрочем для минералога, чем для геохимика.

12. Поле существования каолинового ядра.

В геохимии для нас важно точно определить поле существования каолиновых алюмосиликатов. Когда и при каких условиях распадаются эти соединения с каолиновыми ядрами, самые важные ювенильные и фреатические соединения кремния и алюминия? Когда и при каких условиях разбивается само ядро, а атомы кремния и алюминия разделяются и дают независимые соединения?

В наиболее простой форме эта реакция связана с отделением всех частиц SiO_2 из гидрата $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ и его солей.

Эта реакция происходит при высокой температуре, для чистого каолина близкой к 1000°C . Надо думать, что каолиновый ангидрид имеет полимерную формулу $(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7)_n$, так как при нагревании каолина получаются кристаллы, близкие к силлиманиту, но более богатые алюминием; в этих случаях образуются кристаллизованные тела $p\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot q\text{SiO}_2$, — где p больше q , т.-е. идет увеличение алюминия в комплексе. Это кристаллы, образующие тесто фарфора. Их химическая формула, повидимому, всегда отвечает телу, названному керамитом Меллором и Скоттом или муллитом Н. Боуэном и В. Григом. Состав его отвечает эмпирической формуле $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$. Повидимому, это один из членов целого ряда соединений типа $p\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot q\text{SiO}_2$.

В аналогичных случаях — в природе — под влиянием высокой температуры или давления каолиновые глины часто дают силлиманит, дистен или андалузит более простой формулы Al_2SiO_5 . Неустойчивость каолиновых ядер при высокой температуре (при определенных условиях) показана и для некоторых других случаев в наших лабораториях. Так, например, синтетические опыты польского ученого С. А. Вейберга, столь простые и изящные, доказали, что при очень высокой температуре синтетические щелочные алюмосиликаты не имеют каолинового строения. Вместо $K_2Al_2Si_2O_8$ образуется $K_2Al_2SiO_6$. Когда температура понижается, получается натровый алюмосиликат с каолиновым ядром. Однако, кальциевая соль той же кислоты — анортит $CaAl_2Si_2O_8$ — расплавляется при $1550^\circ C$, не разлагаясь.

Повидимому, другие каолиновые алюмосиликаты могут быть устойчивыми при еще более высоких температурах. Наиболее стоек лейцит $K_2Al_2Si_4O_{12}$, температура плавления которого $1755^\circ C$. Теряя $2SiO_2$, ортоклаз $KAl_2Si_6O_{16}$ дает при $1220^\circ C$ лейцит, сохраняя свое каолиновое ядро неизменным.

Повидимому, таким образом, очевидно, что разрушение каолинового ядра под простым влиянием температуры не только различно для разных кислот, но зависит от металлических оснований, с которыми ядро соединено. Вся эта область химии алюмосиликатов мало изучена; в ней существуют проблемы, которые я здесь могу лишь затронуть. Они имеют большое значение для объяснения генезиса природных алюмосиликатов.

Так, в земных магмах некоторые каолиновые алюмосиликаты (соли) устойчивы при температуре застывания, не превышающей, но близкой к $1600—1700^\circ C$.

При этой температуре каолиновые ангидриды не могут уже существовать. Ангидрид $Al_2Si_2O_7$ разрушается уже при $900—1000^\circ C$.

В связи с этим в магмах при этих условиях выделяются не каолиновые, а другие сложные ангидриды; это ангидриды другого строения, как, например, силлиманит Al_2SiO_5 , соли которого в магмах отсутствуют. Но соли каолиновых ангидридов существуют при самых высоких температурах магм.

Можно, таким образом, считать, что земные магмы во всем их нам известном протяжении являются полем существования каолиновых тел.

Связь между глиноземом и кремнеземом в каолиновых алюмосиликатах нарушается при гораздо более низких температурах под влиянием сильных кислот. В земной коре — в биосфере это производят серная кислота и серный ангидрид, разлагая полевые шпаты или каолины.

В вулканических областях образуются калиевые и кислые алюмосульфаты (разные квасцы, например, алюнит $K_2SO_4 \cdot 3Al_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$); таково издревле известное нахождение алюнита в Тольфа, в Италии. 357 358

Но тот же процесс совершается при еще более низких температурах, не доходящих до $100^\circ C$. Условия этих разложений мало известны, но очень возможно, что во многих случаях они находятся в связи с накоплением и разложением живого вещества. ФОРХГАММЕР давно доказал большую роль водорослей и морских растений в образовании квасцовых сланцев. Хотя химический процесс здесь и не ясен, но, очевидно, что каолиновые глины, железные соли, органические вещества и свободный кислород принимают в нем участие. 359 360

Разрушение каолиновых алюмокремневых молекулярных структур еще чаще совершается в биосфере под влиянием живого вещества.

Для его изучения необходимо предварительно установить общие условия стойкости ювенильных и фреатических алюмосиликатов в биосфере. Они в ней неустойчивы, как я уже это указывал. Их превращение в ней совершается медленно, но непрерывно. В общем можно отметить две различных стадии.

В первой стадии — при образовании каолиновых глин, свободных алюмокремнистых кислот, связь между алюминием и кремнеземом остается не рушенной.

Во второй — эта связь нарушается, и получаются другие, еще более устойчивые в биосфере в присутствии живого вещества, соединения алюминия, чем каолиновые глины.

Такими устойчивыми телами являются для кремния — кремнезем (кварц) и его гели, для алюминия — кристаллические гидраты глинозема (см. стр. 95, 109), $(Al(OH)_3$ — гидраргиллит?), для обоих металлов в присутствии магния — водные силикаты и алюмосиликаты магния.

Прежде, чем идти дальше, остановимся на истории кремния в земной коре при одновременном нахождении в ней магния.

13. Магний и кремний. Магний в земной коре.

Присутствие солей магния вообще совершенно меняет условия устойчивости атомов кремния в присутствии воды. Магний дает легко водные силикаты. Он не единственный металл, дающий их в биосфере. Дают их и три других металла того же изоморфного ряда — Ni, Cu и Zn. Но это металлы редкие, и соединения их играют очень подчиненную роль в массе биосферы.

361 Совершенно иная роль магния.

Масса его атомов может быть сравнима с массой щелочных металлов и с массой кремния, она отвечает порядку $m \times 10^{18}$ метрических тонн. Магний один образует 2,35% массы земной коры (таблица V).

Быть-может, атомы его еще более многочисленны в глубоких слоях, в базальтовой оболочке и ниже (таблица VI).

362 Большая часть массы атомов магния в своих первичных формах — ювенильных минералах — связана с кремнеземом. Мы, однако, уже видели, что связь эта совершенно иная, чем связь щелочных металлов (стр. 120). Простые силикаты — метасиликаты и ортосиликаты — группа пироксенов, амфиболов и перидотов содержат наибольшую часть его атомов. По определению Г. Вашингтона и Ф. Кларка, количество Mg, содержащегося в изверженных породах, равно в среднем 2,09%.

Большая часть этого магния входит в указанные простые силикаты.

363 Состояние магния в них не всегда ясно. Пироксены и амфиболы очень часто содержат большие количества окиси алюминия, связанной, согласно теории австрийского ученого Г. Чермака, с магнием в форме соли $MgAl_2SiO_6$, не имеющей
364 каолинового строения. Теория Чермака встретила в последнее время много противников, однако, мне кажется, что она в общем довольно хорошо объясняет известные факты. Количество $MgAl_2SiO_6$, содержащееся в амфиболах и пироксенах, не превышает 25%, однако, польский ученый С. Морозевич получил искусственные пироксены, содержащие до 73% солей (большой частью кальциевых) кислот H_2FeSiO_6 и $H_2Al_2SiO_6$. В этом случае дело идет уже о твердом растворе иного, обратного характера: здесь метасиликат растворен в солях гипотетических алюмо-и феррисиликатов Чермака.

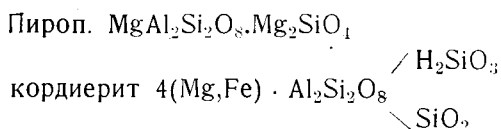
Однако, сложному соединению, полученному Морозевичем, можно дать и иное объяснение.

365

Другая часть магния магм — гораздо меньшая — связана с первичными каолиновыми алюмосиликатами.

Каолиновые алюмосиликаты магния так же, как и железа, резко отличаются от других каолиновых алюмосиликатов тем, что они не дают ни в магмах ни в метаморфических областях чистых солей, аналогичных анортиту $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, ортоклазу $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$, и т. д.

Мы в них наблюдаем — не очень часто — лишь продукты присоединения к каолиновым ядрам магния, например:



Эти продукты в изверженных породах образуются при особых условиях.

366

Но в этих породах еще более распространены каолиновые алюмосиликаты, богатые магнием, иного строения. Это очень распространенные минералы — черные слюды (биотиты, гоутониты и другие). Их строение мало известно: они всегда содержат каолиновое ядро $(\text{K, H})_2 \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, но магний в него не входит; он, повидимому, наблюдается в боковой цепи или же, что менее вероятно, входит в состав алюмосиликата хлоритовой группы, так или иначе связанного с производным телом каолинового ядра $(\text{K, H}_2) \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

Во всяком случае положение магния в слюдах и в таких каолиновых алюмосиликатах, как гранаты, резко различное. Все ювенильные, содержащие магний, силикаты и алюмосиликаты изменяются в фреатической области и еще более в биосфере. Черные слюды дают иногда хлориты, силикаты переходят в водные магниевые силикаты и, быть-может, также в хлориты.

Меньшее количество магния выделяется из магм в состоянии первичных алюминатов, шпинелей.

В биосфере, в вадозных областях, химический характер магния совершенно иной. Этот элемент играет большую еще недостаточно выясненную роль в живом веществе. Так, хлорофил — зеленый пигмент растений, близкий к белкам, роль которого

367 в геохимическом эффекте живого вещества совершенно исключительна, содержит до 2% магния. Количество хлорофила, заключающееся в сухом веществе зеленых частей растений, часто доходит до 1% и даже больше. В биосфере в каждую данную минуту находятся количества хлорофила порядка $n \times 10^{13}$ тонн и в них $n \times 10^{11}$ тонн магния.

368 Несомненно, что магний играет не менее важную роль в строении некоторых белков, столь распространенных в живом веществе, быть-может, в плазме большинства орга-
низмов.

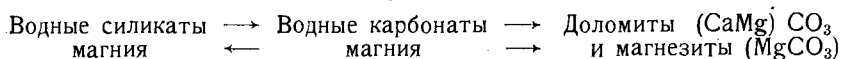
369 Магний живого вещества ($n \times 10^{-20}$ % его массы) в главной своей части удерживается в нем в течение всего геологического времени; меньшая его часть выделяется в конце концов в виде магниевых карбонатов и различных других его растворимых солей, переходящих на земной поверхности частью в магниевые силикаты, мало растворимые. Часть его атомов всегда остается растворенной в природных водах, постоянно переходя в живое вещество. В Океане заключается по крайней мере $5.5 - 6.0 \times 10^{16}$ метрических тонн магния.

14. Вадозные и фреатические силикаты и алюмосиликаты магния.

Живое вещество значительную часть своего магния получает из водных растворов, частью в свою очередь извлекающих магний из живого же вещества, частью генетически связанных с вадозными магниевыми минералами. Вадозные минералы магния очень многочисленны, что указывает на большую роль этого химического элемента в биосфере.

Среди сотен таких соединений преобладают частью его водные силикаты, частью карбонаты, иногда также водные. Они связаны между собою своим генезисом. Динамические равновесия часто наблюдаются между ними и водой.

Их можно выразить следующей схемой:



Водные силикаты магния в большом количестве находятся в вадозных и фреатических областях земной коры. В вадозных областях они часто рассеяны и не привлекают нашего внимания, так как обычно скрыто-кристалличны.

Такие магниевые тела совсем не редки в почвах и в подпочвах, в глинах, в доломитах и в известняках. Повидимому, 370 они всегда находятся в верхних земных слоях, где течет вода. Их кристаллы, частью микроскопические, часто представляют тонкие волокна, образующие массы, подобные азбесту. Многие силикаты магния являются коллоидами. Существуют переходы и смеси между кремнеземистыми коллоидами (опалами) и коллоидами кремнеземо-магнезиальными.

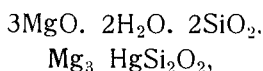
В этих телах содержатся бóльшие или мѣньшие количества глинозѣма. Они собирают алюминий (стр. 131) в биосфере и дают очень своеобразные молекулярные строения, частью водные алюмосиликаты магния, частью — водные силикаты, содержащие алюминий.

Образование этих водных алюмосиликатов и силикатов в вадозных областях очень характерная черта в истории магния. Аналогичные силикаты известны для кальция, но они играют лишь второстепенную роль в его геохимической истории. Алюмосиликаты, аналогичные магниевым, имеют некоторое значение в истории железа в виде изоморфной подмеси к феррисиликатам закиси железа, того же строения. Наблюдаются богатые скопления таких железных руд. Алюмосиликаты закиси железа — в качестве 371 растворителя изоморфной смеси точно не установлены.

Силикаты магния, содержащие воду, играют важную роль в строении метаморфической оболочки.

Здесь сосредоточены огромные массы таких силикатов — тальки, серпентины, стеатиты, антигориты; они образуют горы, дают в земной коре почти чистые массы в сотни миллионов метрических тонн. Они гораздо менее богаты водой, чем вадозные; водные силикаты магния, и их строение, повидимому, иное.

Невозможно представить строение этих фреатических минералов, например, серпентина 372

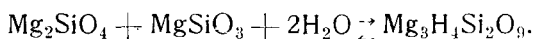


не допустив существование в них группировок Si — OH.

Только при этом допущении получается соответствие между данными анализа и структурной формулой. Вся вода (12,04% для чистого серпентина) конституционная и выделяется сразу при температуре выше 500°. Она; несомненно, входит в химическую молекулу.

Можно подумать, что присутствие магния изменяет свойства атомов кремния и допускает существование группировок Si—OH, обычно неустойчивых. Такие же группировки с гидроксидом, повидимому, существуют для кремне-органических соединений. Можно думать, что и кремний в присутствии щелочных и щелочно-земельных элементов в растворе тоже получает свойство удерживать ионы (OH). В этих случаях в растворах будут существовать ионы $\text{SiO}_3^{''}$ и OH, отвечающие не существующим в твердом виде гидратам $\text{SiO}(\text{OH})_2$ или $\text{Si}(\text{OH})_4$.

Эти магниевые фреатические минералы генетически связаны с вадозными (напр., ренселларит, энафит и другие). С другой стороны, такая же генетическая связь существует между этими фреатическими минералами и ювенильными магниевыми силикатами. Часто метасиликаты (энстатиты) и ортосиликаты (перидоты) основных изверженных пород в фреатических областях под влиянием воды нацело превращаются в серпентин, при большом давлении и сравнительно высокой температуре:



Превращение серпентинов и других магниевых фреатических силикатов в магниевые силикаты, очень богатые водой, в силикаты, образующиеся всюду кругом нас в биосфере из водных растворов, доказывает, что эти поверхностные магниевые силикаты неизбежно должны превратиться в серпентины и в аналогичные тела, когда в результате геологических явлений они очутятся в более глубоких слоях, где последние устойчивы.

Таким образом можно утверждать, что образование водных магниевых вадозных силикатов является подготовкой к образованию фреатических его силикатов, менее богатых водой или даже безводных, и что между их строениями должна существовать определенная зависимость.

Все магниевые вадозные силикаты почти всегда содержат алюминий, количество которого может достигать 20%. Тела, богатые алюминием, в метаморфических областях частью превращаются не в силикаты, а в водные магниевые алюмосиликаты, чрезвычайно в них распространенные и имеющие совершенно иное строение, чем каолиновые алюмосиликаты — в хлориты и в хлоритоиды.

Эти магниевые алюмосиликаты очень обычны в верхней метаморфической области. Хлоритсидные сланцы (с оттрелитом)

и особенно хлоритовые сланцы (с клинохлорами и пенниннами) характерны для всей метаморфической оболочки. Они в ней достигают многих тысяч миллионов тонн, если не больше.

В осадочной оболочке и в биосфере они никогда не дают глины (каолинов) и синтезом не были получены из каолинов. Каолиновые глины в метаморфических областях дают начало слюдяным сланцам, а не сланцам хлоритовым. Хлоритоиды более устойчивы на земной поверхности, чем хлориты. Хлориты путем выветривания дают опалы, гидраты окиси железа, водные магниевые силикаты. Они отчасти вновь превращаются этим 379 путем в исходные для них формы соединений кремния.

Мы таким образом наблюдаем концентрацию глинозема в этих кремневых магниевых телах как на поверхности земли, так и в метаморфических областях земной коры. Эта концентрация начинается на поверхности.

Такая концентрация алюминия в вадозных, богатых водой, в магниевых силикатах биосферы — важнейшее явление в истории алюминия.

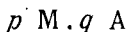
Алюминий в своих вадозных формах нахождения концентрируется: 1) в живом веществе, в меньших, однако, количествах, чем кремний или магний; 2) в глинах; 3) в гидратах и 4) в водных магниевых силикатах и алюмосиликатах.

В этом последнем случае образуются кристаллические массы, иногда коллоидные (минералы, на которые минералоги и химики до сих пор обращали, к сожалению, очень мало внимания), очень распространенные на поверхности земной коры и очень важные в истории калия, магния, алюминия и кремния.

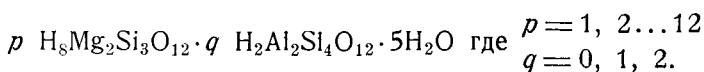
Повидимому, их существует две весьма между собою различающиеся группы. Одна из них, очень мало изученная, представлена алюмосиликатами, входящими в состав мергелей. 380

Эти алюмосиликаты очень часто отлагаются в осадках озер. Они, может-быть, соответствуют главконитам морских илов; химическое строение их, повидимому, тождественно. Оба содержат магний и калий. Это соли многоосновных хлоритовых кислот. Они родственны обычным хлоритам, но являются производными других алюмокремневых кислот. Другая группа, 381 еще более богатая магнием, бедная или лишенная калия, содержит вадозные, и, может-быть, фреатические минералы. Роль в ней алюминия совершенно иная и впервые была указана А. ФЕРСМАНОМ. 382

Алюминий играет в свойствах этой группы второстепенную роль. Можно представить эти силикаты, как продукты присоединения (стр. 119) к силикатам, где весь алюминий и часть кремния не входят в ядро, свойства которого определяют сложный комплекс:



где М (ядро) — гидратный магниевый силикат, а А — комплекс из атомов Al, Si и воды. Коэффициенты p и q простые числа и $q = 0, 1$ или 2 . Тела, не содержащие комплексов А, не отличаются физически от тел, их содержащих. Они дают, повидимому, непрерывные ряды изоморфных смесей. Так, для палыгорскитов — горных кож или бумаг можно дать такие формулы:



Факты соответствуют этим теоретическим представлениям. Комплекс А никогда не имеет каолинового строения и приближается к аллофанам; атомы кремния и алюминия не находятся в нем в прямой связи.

К этой группе, изученной А. Ферсманом, примыкает, может быть, другая группа аналогичного строения, более простая, где группа А соответствует маргаритовой кислоте С. Вейверга — $\text{H}_2\text{Al}_2\text{SiO}_6$.

Эти алюминиевые силикаты часто собираются большими массами. Они дают землистые тела, и их зачастую не отличают от глин.

383 Таким образом, образуются большие отложения «сукновальных глин». Они, вероятно, входят в состав мергелей.

384, 385 Можно предполагать, что подобно тому, как водные магниевые силикаты, бедные алюминием, дают начало фреатическим силикатам, таким, как серпентины или тальк, точно также вадозные магниевые алюмосиликаты или алюмосиликатовые продукты присоединения к силикатам, дают начало хлоритам и хлоритоидам.

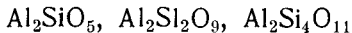
В более глубоких слоях первые дают магниевые метасиликаты и ортосиликаты, последние же разрушаются.

Магма при затвердевании, при перекристаллизации их не дает. Она дает алюмосиликаты каолинового строения. Хлориты и хлоритоиды всегда содержат воду (10,3 — 15,2% воды для

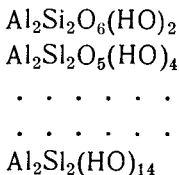
хлоритов): они теряют эту последнюю при довольно низкой температуре (между 400° — 700° Ц) и, повидимому, неустойчивы уже в глубоких слоях метаморфической оболочки, (таблица VI). 386

Их химическое строение совершенно отлично от производных каолинового ядра.

Можно представить хлоритоиды в виде солей и продуктов присоединения маргаритовой кислоты $H_2Al_2SiO_6$, а хлориты в виде изоморфных смесей солей многоосновных кислот, отвечающих ангидридам:



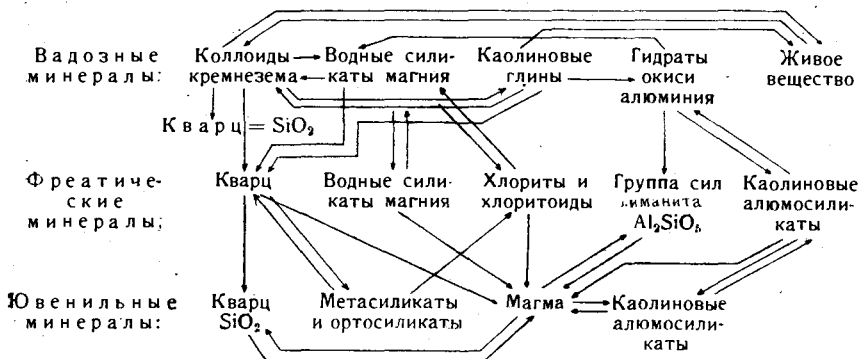
например, соли кислот:



Они всегда богаты H_2O , MgO , FeO и часто смешаны с аналогичными феррисиликатами. 387

Мы таким, образом, имеем для Si и Al следующий геохимический первичный цикл (таблица XI).

ТАБЛИЦА XI.



Эта схема указывает на важность разложения каолинового ядра, происходящего в биосфере и ведущего к новым превращениям глинозема и кремнезема.

15. Кремний в живом веществе.

Становится все более очевидным, что разложение каолинового ядра, кроме исключительных случаев действия сильных кислот (стр. 123), не может происходить в биосфере без участия живого вещества — что это процесс биохимический.

Разложение каолинового ядра происходит под влиянием живого вещества, обладающего необходимой для разрушения этого ядра концентрацией энергии, которую оно черпает в солнечных лучах.

Разложение каолинового ядра в каолиновых глинах — $H_2Al_2Si_2O_8$ — всегда сопровождается большим выделением тепла, имеющего, быть-может, значение в жизненных процессах, связанных с этим разрушением.

Кремний всегда входит в состав живого вещества. Он был найден в нем на рубеже XIX столетия, в растениях одновременно и независимо Вокеленом и Дэви, в животных организмах еще раньше П. Абильтгаардом. Уже Дэви, а особенно Т. де-Соссюр ясно сознавали его значение для зеленых растений. И, однако же, потребовалось более ста лет упорной работы для того, чтобы окончательно побороть сомнения и предвзятые идеи. Эта победа была одержана лишь за последние годы, когда новые опыты П. Мазэ с несомненностью доказали необходимость кремния для жизни растений и выяснили ошибки прежних опытов.

Не подлежит сомнению, что никакое живое вещество и никакие организмы не могут существовать без кремния. Роль кремния не вполне, однако, выяснена. Повидимому, ясно, что он частью необходим для образования более твердых скелетных частей тканей и клеток растений и животных. Кремнезем сосредоточивается в оболочках клеток, в соединительной ткани, в эпителии. Однако, кремнезем, кроме того, находится в полужидком содержимом клеток — в плазме, например, у диатомей. Высказывались даже гипотезы, основывавшиеся на аналогиях, объяснявшие само коллоидальное строение протоплазмы присутствием в ней коллоидального кремнезема.

Ничто не доказывает, однако, чтобы кремний был необходим организму лишь в связи с физическими свойствами его соединений. Наоборот, в течение жизни организма — животного или растительного — миграции атомов кремния бывают очень сложны; они сосредоточиваются и исчезают в определенной связи с идущими в организме химическими и физиологическими процессами.

395

Весь кремний, сосредоточенный в каждый данный момент в живом веществе, находится в непрерывном движении. Организмы все время извлекают его атомы для своего питания и выбрасывают их в своих экскретах. В общем, количество кремния, находящегося неизменно в организмах, равно десятым долям процента их веса, т. е. отвечает 10^9 — 10^{10} тоннам.

396

Несомненно, это — ничтожная доля всего кремния, находящегося в земной коре. Но в действительности доля эта отвечает огромным массам вещества, много большим 10^{10} тонн, принимая во внимание, что атомы кремния находятся в непрерывном движении, входят и выходят из организма.

Количество кремнезема, находящегося в известный момент в живом веществе, представляет лишь ничтожную долю всех атомов кремния и связанного с ним кислорода, прошедших через него в течение, например, одного года. В год проходит через живое вещество во много раз — тысячи или десятки тысяч раз — больше атомов кремния, чем сколько их содержится в каждый данный момент во всех живых организмах.

Масса их, несомненно, больше, чем вся масса многих металлов, существующих в земной коре, как, например, олова, серебра, свинца, золота и других более редких простых тел.

Уже в силу одного этого факта живое вещество имеет большое значение в истории кремния.

Но это значение еще больше благодаря особенностям нахождения кремния. Есть организмы кремневые, содержащие более 10% его по весу, и организмы, богатые кремнием (от 1% до 10% кремния).

397

398

Многие из этих организмов очень распространены и образуют огромные массы живого вещества на земной поверхности. Такие организмы определяют всю геохимическую историю кремния.

Миллиарды таких организмов отлагают неустанно миллионы тонн опалов, коллоидального кремнезема, на дне водных

бассейнов и на земной поверхности. Сотни тысяч квадратных километров дна современных океанов покрыты кремнистыми остатками диатомей, радиолярий, губок. Диатомеи господствуют в илах полярных морей Антарктики, в северных частях Тихого океана, радиолярии — в Атлантическом океане, в глубоких частях Индийского и Тихого океанов. Менее значительные осадки образованы иглами кремнистых губок или остатками других кремневых или богатых кремнием организмов. Подобный же процесс, несомненно, совершался в предшествовавшие геологические эпохи. Многочисленные современные осадочные и метаморфические породы — кварциты, яшмы и т. п. — являются их измененными остатками. Опалы в них превратились в кварц.

Нам в земной коре неизвестны процессы большего масштаба для кремния; самые большие концентрации чистого кремнезема (кварца) получаются именно этим биохимическим путем.

К ним по своей массе приближаются метаморфически измененные песчаники и кварциты, образовавшиеся из продуктов механического разрушения песков, зерна которых имеют в конце концов разный генезис; частью они собраны из биогенных пород, частью из массивных.

Кварцы, выделившиеся из водных растворов (коллоидальных псевдорастворов) или благодаря химическому разрушению алюмосиликатов и силикатов, никогда не дают больших скоплений.

Несомненно, что этот процесс существовал всегда, от начала жизни. Остатки радиолярий известны из докембрийских слоев, кремнистых губок из раннего кембрия, диатомовых с лейяса, но и для них неизбежно принять геологически длительную предшествовавшую историю.

Роль живого вещества в истории кремния, однако, не ограничивается такой концентрацией кварцевых масс, свободного кремневого ангидрида.

Роль его в выпадении коллоидальных гелей кремнезема из его водных псевдорастворов не менее велика. Во всех природных водах всегда имеется кремнезем. Его количество ничтожно, но оно находится в непрерывном движении. В морской воде, в гидросфере находят $n \times 10^{-4} \%$ Si, в пресных водах количества эти того же порядка, иногда меньше. Бывают случаи, когда в реках тропических стран, богатых органическими веществами, эти количества доходят до $n \times 10^{-3} \%$, например, в реке Демерара в Британской Гвиане, согласно ГАРРИСОНУ—

$2,3 \times 10^{-3} \%$. В некоторых гейзерах и минеральных источниках его количество того же порядка. 405

Процент кремнезема в природных водах всегда меньше, чем его процент в организмах, обитающих в этих водах и черпающих из них кремнезем. Организмы всегда являются собирателями кремния по сравнению с его водными псевдорастворами. Это ясно из следующих данных процентного содержания кремния:

Организмы: $n \times 10^{-1}$ (растения) — $n \times 10^{-3}$ (животные) $\%$ Si, для морской воды — $n \times 10^{-4} \%$.

Существует некоторого рода равновесие: если природные воды становятся богатыми кремнеземом, это дает толчок энергичному развитию кремневых организмов или организмов, богатых кремнеземом, диатомей, силикофлагеллят и других, сосредоточивающих больше одного процента кремния в своей живой массе, и этим уменьшается концентрация кремния в природном псевдорастворе. Как только эта концентрация уменьшается, ослабляется жизнь кремневых и богатых кремнием организмов.

Живое вещество еще другим способом ограничивает сосредоточение кремнезема в природных водах. В присутствии органических веществ, выделяемых организмами при их жизни или образующихся вследствие их разложения после смерти, кремнезем выпадает в виде гелей из своих золь — водных псевдорастворов. Очень часто он концентрируется в живых организмах, еще чаще он окремняет мертвые тела. Процесс окремнения, повидимому, биохимический. 406

16. Живое вещество и силикаты. Разложение каолинового ядра.

Живое вещество, несомненно, играет первенствующую роль в разрушении ювенильных или фреатических силикатов и алюмосиликатов. Мы знаем, что агентом этого разрушения является вода. Оказывается, однако, что действие чистой воды очень слабо. Природная вода всегда содержит в растворе свободный кислород и угольную кислоту — продукты жизни; в ней находятся органические вещества биохимического происхождения, и наконец организмы. В этих сложных условиях силикаты и алюмосиликаты разлагаются; богатые закисью железа выделяют

гидраты окиси железа, образуются щелочные и щелочно-земельные карбонаты, большею частью растворяющиеся в воде, выпадают коллоиды (или золи) кремнезема, каолиновые глины и другие алюмокремневые кислоты.

Связь кремнезема и глинозема с металлами исчезает, и так или иначе они входят в соединение с водой.

Но механизм процесса не ясен. Это не простое химическое действие кислорода и других тел, созданных жизнью. Процесс идет в присутствии живых организмов; существуют указания
407 на влияние лишайников, особенно бактерий. Он обычно объясняется обогащением воды углекислотой, которая выделяется жизнедеятельностью организмов. Несомненно, каолинизация — разрушение каолиновых алюмосиликатов и выделение их свободной кислоты — всегда идет в среде, богатой углекислотой и богатой жизнью; она наблюдается в почвах, болотах, растительных скоплениях тропических стран. Однако, и тут не всегда происходит эта реакция. Мы еще не понимаем, каких условий для этого не хватает. При таком состоянии наших знаний мы можем говорить лишь о биохимическом ходе этого процесса, не определяя его механизма.

Влияние некоторых живых организмов на алюмосиликаты идет еще глубже, чем такое влияние воды и угольной кислоты.

Некоторые из организмов способны разрушать связь между алюминием и кремнием каолинового ядра и резко менять миграцию этих атомов. Под влиянием жизни они направляются по разным путям и дают начало отдельным соединениям алюминия и кремния.

Нам в настоящее время известны три биохимических процесса разрушения каолинового ядра, но возможно, что существуют еще и другие.
408

Первый процесс — это образование глауконита на океаническом дне, на глубинах, не превышающих двух километров, всюду, где проходит иловая линия, окружающая континентальные массивы, там, где осаждаются мельчайшие взвешенные в воде частицы (Меррей и Ренар. 1891); он образуется при температурах не ниже 15° Ц, при более низкой образуется другой, близкий к нему феррисиликат (К. Гумм вль. 1922).
409

Глауконит — водный феррисиликат калия, железа и магния, образующийся из каолиновых алюмосиликатов — «глин» (каолиновых) и калиевых их солей (полевые шпаты, слюды). Он при-
410

надлежит к хлоритам особого строения; кислоты, которым отвечают эти хлориты, близки к тем, к которым принадлежат магниевые алюмосиликаты пресноводных мергелей (стр. 130).

Главкониты — кислые соли магния, калия, закиси железа, реже натрия и кальция, кислоты $\text{Fe}_2\text{Si}_4\text{O}_8(\text{HO})_6$, содержащие в изоморфной смеси, аналогичные производные алюмокремневой кислоты $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_8(\text{HO})_6$.

411

Образование главконита — процесс большого масштаба, совершающийся в настоящее время на протяжении многих сотен тысяч квадратных километров. Образование это имело место и в древние эпохи, несомненно, начиная от верхнего кембрия. Главконит изменяется в коре выветривания на земной поверхности и образует скопления железных руд, лимонитов (водной окиси железа); миллионы тонн этих тел собраны, напр., в осадочных породах средней России. Он, разлагаясь, поглощает кислород и воду.

Его образование, повидимому, несомненно, связано с жизнью, но характер влияния последней в точности не известен. Влияние живого вещества в образовании зерен главконита проявляется не только в факте сосредоточения этих последних вокруг остатков организмов (раковины фораминифер, иглы губок и т. д.), и в их образовании в местах, богатых жизнью, но также в их строении. Каспари доказал, что свежие зерна главконита всегда содержат гуминовое органическое вещество, и что это органическое вещество представляет род губки, в которую включены новообразования феррисиликатов.

412

Влияние живого вещества, вероятно, очень сложно. Преобразование каолиновых алюмосиликатов (часто может быть натровых) в главконит связано с потерей большей части алюминия, с поглощением атомов железа и с разрушением каолинового ядра.

Мы не знаем, что делается с алюминием измененных алюмосиликатов. Можно было бы по аналогии с латеризацией предположить образование гидратов глинозема в главконитных осадках, но указаний на их присутствие нет; их впрочем там и не искали.

Несомненно, что при наличии некоторых условий в морском дне образуются, как то доказали М. Кишпатич и Ф. Тучан, гидраты глинозема. Они доказали, что нерастворимый остаток от известняков и доломитов, образующий «terra rossa» карстовых областей, большей частью состоит из гидратов глинозема, образовавшихся еще в морской воде.

413. 414

Наши сведения о разрушении каолинового ядра в биосфере, на континентах и на островах, более определены. Это изменение идет на суше и связано с действием воды. Оно известно для каолиновых глин и таких же солей, как полевые шпаты.

Нам известны два таких различных процесса: образование алюмофосфатов и гидратов глинозема. В обоих случаях кремний тем или иным способом подвергается миграции и отделяется от алюминия, дающего нерастворимые соединения и остающегося на месте. В обоих случаях живое вещество играет господствующую роль в процессе. Эти процессы наблюдались почти исключительно в теплых странах, но несомненно, что те же явления (быть-может, с меньшей интенсивностью) идут при благоприятных условиях и в умеренном климате. Впрочем, значительные скопления продуктов выветривания образуются здесь редко.

Изменение полевых шпатов, глин, каолиновых и других алюмосиликатов (например, авгитов) в алюмофосфаты наблюдаются в жарких, сухих странах, бедных осадками. Оно наблюдается на многих островах в пределах 17° широты по обеим сторонам экватора; образование алюмофосфатов совершается под влиянием гуано птиц и летучих мышей в самых различных изверженных породах. Часто кристаллы алюмосиликатов, сохраняя свою форму, нацело превращены в алюмофосфаты. Повидимому, тропические дожди играют здесь еще невыясненную роль. Тот же процесс имеет место в пещерах, где образуется скопление экскрементов. Там, несомненно, проявляется действие растворимых фосфатов, но механизм процессов тоже неизвестен. Как было отмечено А. Лакруа, это, несомненно, биохимический процесс, и возможно, что тот же процесс в менее ясной форме совершается всюду, где при благоприятных климатических условиях разлагаются остатки или отбросы организмов, богатых фосфором. Такой процесс наблюдали в пещерах, в Южной Европе и в Северной Африке. Повидимому, образуются водные алюмофосфаты при условиях, когда метеорная вода может растворять металлические соли (калиевые и другие), образующиеся во время разложения органических остатков. Если эти соли остаются на месте (например, в пещерах), образуются калиевые и аммониевые алюмофосфаты. Агентом, вызывающим разложение, должны быть бактерии, как это мы наблюдаем в миграциях фосфора в почвах.

Другой процесс разрушения каолинового ядра, более изученный и, вероятно, более распространенный — биохимический — это образование гидратов глинозема, так называемая латеризация.

Известно с давних пор, что в почвах и в подпочвах наших широт наблюдаются не только глины (каолиновые), но и гидраты глинозема. В тропических и субтропических сырых странах издавна были известны особые почвы, богатые окисью железа — латеритические почвы или латериты. Немецкий минералог М. Бауер первый доказал, что эти почвы не только 418 богаты водной окисью железа, но также и гидратами глинозема. Они очень аналогичны алюминиевым рудам, бокситам, образующимся частью на месте, частью в осадках, перемытых и отложенных водой. Несомненно, что эти гидраты глинозема образуются за счет глин или каолиновых алюмосиликатов, например, полевых шпатов. Во время этого превращения гидраты глинозема сохраняются в виде мало растворимых остатков, кремнезем каолиновых тел растворяется и уносится водой в виде коллоидальных зелей или вновь захватывается живым веществом, содержащим обычно по крайней мере в несколько тысяч раз больше кремния, чем алюминия. 419

Каким образом совершается это разложение каолинового ядра? Почему разрушается каолин, который, как мы знаем, представляет стойкий вадозный минерал, остаток, не изменяющийся в биосфере, при наличии кислорода, воды и CO_2 ? По этому поводу высказано было много гипотез, явно не охватывавших в достаточной мере известные факты. Я на них здесь останавливаться не буду. Ибо, сверх того, в огромном большинстве этих гипотез не принимались во внимание два факта: 1) то, что разлагающиеся каолиновые глины являются конечной, чрезвычайно устойчивой формой процессов выветривания и, очевидно, разлагаются при каких-то особых условиях и 2) то, что отделение глинозема от кремнезема в этих каолиновых телах не происходит в физико-химических условиях биосферы и требует особого, большого проявления энергии. Ни существование ни особенности каолинового ядра при этом не принимались во внимание, так как большинство исследователей считали, что глины и алюмосиликаты — кислые и двойные соли кремневых кислот.

Объяснения строились на этих представлениях, противоречащих фактам.

420 Английский минералог Голланд, изучая латериты Индии, высказал, кажется, впервые догадку, что разрушение каолина является следствием особых биохимических условий, продуктом неизвестных микробов.

Голланд не знал об исследованиях, сделанных несколько лет раньше шотландским океанографом Д. Мерреем и его 421 учеником Р. Ирвином. Размышляя во время знаменитого путешествия «Чалленджера» об истории кремния в Океане и о питании диатомей, значение которых столь огромно (стр. 134), Д. Меррей не мог объяснить себе, из каких источников эти кремневые массы живого вещества черпают необходимый им в таком количестве кремнезем.

Он думал, что эти водоросли заимствуют его у мельчайшей мути, «глины», находящейся в соленой воде Океана. Во время плавания он доказал присутствие этой мути, а по возвращении в Эдинбург убедился, что диатомовые *Navicula* могут из нее извлекать кремнезем, т.-е. могут разлагать эту глину.

Факт разложения каолиновых глин в присутствии диатомей 422 был доказан в эти последние годы для других родов и видов диатомей еще в Киеве другим способом в наших работах с М. Бессмертной и А. Огловлиным и в Париже Купеном. Во всех этих опытах всегда констатируется сосуществование диатомей и бактерий, и неизвестно, кто из этих организмов производит разложение. Нам неизвестен механизм этого превращения. Но, если представления об особой стойкости каолинового ядра правильны, механизм этот должен иметь очень большое значение в жизни организма и представлять глубокий биологический интерес.

Организм совершает здесь работу при низкой температуре, которая, как мы видели, обычно идет только при высокой температуре или при действии сильных химических агентов. В результате этого биохимического процесса совершается факт огромного геохимического значения: происходит разрушение связи между алюминием и кремнием, в соединениях, устойчивых в коре выветривания, в огромном масштабе. Остановившееся разрушение алюмосиликата — на промежуточной стадии — идет до конца.

Эта реакция по своему значению и по своему характеру напоминает другую, еще более геохимически важную: разрушение столь устойчивых молекул, как CO_2 и H_2O зеленым живым

веществом в хлорофильных пластидах. Выделение свободного кислорода есть следствие этого разрушения. А это—самое важное химическое явление в химической истории земной коры.

Существует, однако, очень определенное различие между этими двумя процессами. Оно проявляется в тепловом эффекте. Вода и угольная кислота — экзотермические соединения, образовавшиеся с выделением тепла. Повидимому, строение каолинового ядра совсем иное, это — эндотермическое соединение, и, когда живое вещество его разрушает, должно происходить выделение тепла.

В случаях H_2O и CO_2 организм пользуется лучистой энергией солнца, подобно тому как мы пользуемся очень высокой температурой для разложения тех же молекул воды или угольной кислоты. Возможно, что тепло, выделяющееся при разложении каолиновых ядер, необходимо для жизни разрушающих организмов — для бактерий или диатомей.

Если это так, то жизнь этих организмов поддерживается в конце концов не солнечной, но атомной энергией — энергией радиоактивного распада, вызывающей расплавление магмы. Ибо при ее застывании создаются каолиновые алюмосиликаты.

17. Первичный геохимический круговой процесс кремния.

Картина, которая перед нами раскрывается, очевидно, отвечает первичному круговому процессу кремния.

Миллионы тонн атомов этого элемента находятся в непрерывном движении — в миграции. Они концентрируются в биосфере, в осадочной оболочке, быть-может, в первой метаморфической оболочке, в поле цементации Ван Хиза (в виде кварца), и их количество постепенно уменьшается, по мере углубления в земную кору. Они, вероятно, становятся сравнительно редкими в металлическом ядре планеты, если таковое существует. 423, 424

На земной поверхности живое вещество вновь постоянно захватывает эти атомы из водных золей кремнезема. Возможно даже, что живая плазма живых клеток может растворять некоторые количества опала. Живое вещество, в лице некоторых своих представителей, обладает способностью разрушать устойчивые каолиновые ядра алюмосиликатов и извлекать из них атомы кремния. 425

Кремний в биосфере под влиянием воды, угольной кислоты, являющихся здесь продуктами жизни и, вероятно, под влиянием жизненных процессов самих организмов концентрируется в твердые кремнеземистые коллоиды — в опалы; выкристаллизовывается затем в кварц, собирается в псевдорастворах — в коллоидальных золях, в водных магниевых силикатах и в глинах — свободных сложных кислотах с каолиновыми ядрами. Водные магниевые силикаты вновь собирают глинозем, освобожденный из каолиновых тел силой того же биохимического воздействия.

С течением геологического времени все эти кремниевые тела мало-по-малу и неизбежно проникают в участки коры, в которых все вадозные минералы неустойчивы, — в метаморфические оболочки.

Там магниевые силикаты дают серпентины, тальки, хлориты, хлориты и, наконец, в конце концов авгиты и роговые обманки. Каолиновые глины возвращаются к своему исходному состоянию — к каолиновым солям, они дают слюды, полевые шпаты и т. п. Их ядро иногда разбивается, давая минералы группы силлиманита и кварца. Опалы дают кристаллический кварц.

Уже в глубоких метаморфических областях вновь совершаются синтезы различных каолиновых алюмосиликатов (идет синтез каолинового ядра) в горячих водных растворах, в среде больших давлений. То же образование каолиновых алюмосиликатов происходит еще в более грандиозном масштабе в расплавленных магмах при их застывании.

Во всем этом вечно возобновляющемся цикле, характеризующем господствующую массу материи земной коры, видно проявление двух сил: силы солнца, захваченной живым веществом, и энергии кремневой магмы.

Живое вещество в своем существовании теснейшим образом связано с другим элементом, который неправильно сравнивали с кремнием — с углеродом.

Энергия магмы связана с группой элементов радиоактивных. Остановимся сперва на углероде.

ОЧЕРК ПЯТЫЙ.

УГЛЕРОД И ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО В ЗЕМНОЙ КОРЕ.

1. Углерод в земных оболочках и его значение.

Углерод — один из важнейших химических элементов земной коры. Его значение несоизмеримо велико по сравнению с количеством его атомов, находящихся в земной коре. В истории иода, марганца, кислорода, алюминия, магния, кремния мы всюду видели решающее значение в миграции их атомов живого вещества, очевиднейшим образом связанного со свойствами атомов углерода. То же явление имеет место и для других элементов.

Нужно, однако, с самого начала помнить, что, противно господствующим идеям, нельзя рассматривать организованную материю, живое вещество, как материю, в которой преобладают атомы углерода. В ней преобладают атомы кислорода и водорода. Водород образует в среднем по весу больше 10% массы организмов, а кислород один — больше половины. Три других элемента — углерод, азот и кальций — образуют каждый больше одного процента. Несомненно, существуют организмы, гораздо более богатые углеродом, как, например, растения суши и еще более наземные млекопитающие, позвоночные вообще, содержащие приблизительно 10—20% углерода, но вместе с тем большое количество организмов, богатых водой, и все водные организмы содержат лишь десятые, иногда немногие доли процента углерода. Возможно, что есть организмы, содержащие по весу $n \times 10^{-2}$ % С.

Эти бедные углеродом организмы по весу состоят главным образом из воды, т.-е. из атомов водорода и кислорода. С геохимической точки зрения, живое вещество есть кислородное вещество, богатое углеродом, и лишь

иногда оно является углеродистым, содержащим более 10% углерода. Значение углерода в живом веществе, в организмах, не объясняется его количеством, но есть функция его химических свойств, особого строения его атомов, может быть, даже не только их поверхностных электронов, определяющих его химические свойства.

Преобладающее, особое значение атомов углерода свойственно не только живым организмам, — это есть свойство всей земной коры и ее живой и косной материи.

Значение углерода в геохимических реакциях всегда гораздо больше, чем его относительное количество.

Среднее количество углерода в земной коре, в вадозных, в фреатических и ювенильных областях соответствует нескольким десяткам долей процента. Новые определения петрографов и химиков, например, Ф. Кларка и Вашингтона (1924) 427 уделяют ему менее 0.1% (0.087%). Мне кажется, что эти числа не соответствуют действительности. В них принят во внимание лишь углерод в карбонатах в виде угольной кислоты и в изверженных породах; даже для последних они принимают одну угольную кислоту обычных химических анализов. Изверженные породы (в которых определен только такой углерод) отвечают 95% массы всей земной коры. В анализах изверженных пород не приняты, однако, во внимание ни включенные в них газы, всегда богатые углеродом, ни органические вещества, бедные кислородом, всегда в них находящиеся. Большие количества углеродных соединений сосредоточены в метаморфических породах, например, в гнейсах; богатые углеродом их разновидности (графитовые гнейсы) гораздо более распространены, чем это обычно пред- 428 полагается. Их находят в парагнейсах и в ортогнейсах, и несомненно, что граниты, содержащие графит, часто образуют большие массивы. К сожалению, обычные химические анализы пренебрегают этим углеродом, и наши сведения основываются 429 на старых наблюдениях, которые следовало бы проверить, применив новые методы химии. В определениях среднего состава изверженных пород не приняты во внимание большие количества парагнейсов и соответствующих гранитогнейсов, всегда более богатых углеродом, чем граниты и изверженные гнейсы (ортогнейсы). Изверженные породы третьей земной оболочки (таблица VI), несомненно, более богаты углеродом, чем изверженные граниты. Углубленное изучение содержащих углерод

сублимаций и эманаций, могущих выделяться из всех изверженных пород и гнейсов, о которых у нас имеются лишь недостаточные и старинные наблюдения, представляло бы большой интерес. 430

Весь этот углерод не принят во внимание Кларком и Вашингтоном.

При расчете среднего процента углерода они не приняли во внимание и углерод осадочных и верхних метаморфических пород. А между тем углистые сланцы, например, связанные с месторождением угля, содержат большую массу углерода, чем самые угли. Альгонкские углистые сланцы содержат иногда 431 более 20% углерода. Ювенильные газообразные и твердые соединения углерода — карбиды, карбонилы, окись углерода, быть может, цианистые тела совершенно исключены из этих определений, так же как графит глубоких слоев земной коры.

Таким образом, количество углерода земной коры, несомненно, больше числа, даваемого Ф. Кларком и Вашингтоном. Среднее содержание углерода в земной коре, вероятно, близко к 0,4—0,5% ее веса, как я это рассчитывал раньше. Углерода, несомненно, меньше, чем титана (больше 0,6%). Но этот углерод неравномерно распространен в земной коре. Мы наблюдаем очень определенную концентрацию углерода в верхних химических оболочках литосферы (6-й и 7-й, стр. 58), которую мы, к сожалению, не можем представить в определенных числах. 432

Для осадочных пород, согласно Ф. Кларку, среднее содержание углерода (находящегося в состоянии CO_2) и углистых веществ приблизительно доходит до 2%. 433

В действительности колебания этого среднего числа очень велики. В странах, богатых известняками, в частях коры, в которых преобладают соединения, его содержащие (угли, битумы, карбонаты и т. д.), количество углерода может подниматься до 10—12%. В биосфере оно, может-быть, бывает даже еще большим, если исключить океаны. В частях же коры, состоящих из песчаников, из глин, из изверженных пород, из кристаллических сланцев и, в воде Океана, даже в верхних оболочках его количество иногда понижается далеко за пределы среднего. Однако, в общем, в верхних слоях литосферы наблюдается определенное увеличение содержания углерода, иногда превышающее в 5—6 раз его среднее количество для всей земной коры.

Это обогащение углеродом имеет тем большее значение, что в геохимических процессах влияние углерода увеличивается не просто пропорционально его массе, а много быстрее.

В геохимической истории углерода следует обратить внимание на два важнейших явления: 1) на образование на земной поверхности живого вещества, самым характерным элементом которого является углерод, и 2) на господствующую газообразную форму ювенильных минералов углерода. Эти два факта оставляют неизгладимый отпечаток на всей химии земной коры.

2. Устойчивость минералов углерода.

Нужно, с другой стороны, принимать во внимание особые химические свойства углерода, между которыми наиболее характерным является устойчивость его органических природных соединений в термодинамических земных условиях. Они изменяются в них лишь очень медленно, и часто вовсе не изменяются даже азотистые углеродные соединения, которые мы привыкли считать очень неустойчивыми. В нефтях мы всегда наблюдаем азотистые соединения — с хинолеиновым строением — чрезвычайно стойкие; хитины некоторых брахиопод сохраняются⁴³⁴ в осадочных породах от начала кембрия миллионы лет без изменения. Белковые тела, как хлорофил, сохраняются при благоприятных условиях многие десятки, если не сотни лет.

В термодинамических и химических условиях земной коры все природные углеродистые соединения устойчивы, если защитить их от влияния жизни. Соединения, образующие живое вещество, — белки, жиры, углеводы — остаются неприкосновенными и изменяются лишь крайне медленно, не утрачивая своего строения при условии изолированности от явлений жизни. Гниение и брожение в биосфере, изменение живого вещества после смерти суть биохимические явления. Знаменитые опыты Пастера непреложным образом доказали нам устойчивость этих органических тел в стерилизованной среде, между тем как в нашей обычной среде они являют характерный пример химической неустойчивости. Всюду в природе мы видим многочисленные примеры сохранения или лишь медленного изменения этих продуктов живого вещества, если они остаются вне прикосновения жизни, в безжизненной среде, даже при температуре и давлении биосферы. В торфяниках или в сухих стра-

нах организмы сохраняются неизменными. Здесь мало меняются самые сложные молекулы строящих организм соединений.

Углеродистые минералы еще более стойки, чем эти непосредственные продукты живых организмов.

В живом веществе и в органической химии — соединения углерода дают определенные и многочисленные молекулярные изменения: организмы, несомненно, заключают в себе миллионы соединений, а в наших лабораториях синтез создал их сотни тысяч. Эти тела дают в наших лабораториях очень многочисленные и легко идущие молекулярные превращения, создают соединения, резко отличающиеся друг от друга очень определенными яркими химическими свойствами.

Совсем иначе обстоит дело с углеродистыми соединениями, существующими вне живого вещества. Они также кажутся очень многочисленными, но мы их лишь с трудом отличаем друг от друга, настолько их свойства близки и мало определены. Это — косные тела, очень устойчивые, изменяющиеся химически лишь медленно и с большим трудом. Они не могут быть изучаемы обычными методами химии, созданными в ином порядке идей. Мы лишь с трудом и путем больших усилий начинаем понимать химию углей, нефтей и гумусовых веществ.

Не следует думать, чтобы эти тела не образовывались в органических синтезах наших лабораторий или в живом веществе. В обычных реакциях органической химии мы имеем те же гумусовые или стойкие смолистые продукты, как продукты вторичных реакций, но мы их не изучаем и обычно не принимаем их во внимание при исчислении выхода реакции.

Этого мы не властны делать в биохимических и геологических реакциях. Здесь мы должны изучать все образующиеся тела, даже если они чужды главной реакции.

Всюду в живом веществе можно наблюдать образование таких устойчивых и косных углеродистых тел. Они участвуют в построении наиболее устойчивых и прочных частей организмов, они еще гораздо более многочисленны в отбросах и экскрементах живого вещества. Они собираются в его остатках после смерти. Они преобладают в углеродистых минералах. Это и понятно, так как почти все углеродистые минералы образовались биохимическим путем или же происходят из остатков и отбросов организмов. Их количество растет с течением времени, так как организмы постоянно вновь образуют эти

косные тела, подвергающиеся лишь очень медленному разложению.

Научное изучение этих продуктов начинает делать успехи медленные, но верные. Очевидно, что эти новые главы органической химии, при развитии которых мы ныне присутствуем, открывающие строение молекул углерода, чрезвычайно стойких и косных, будут не менее богаты, чем старая органическая химия.

Изучение их не менее важно для химической истории углерода, и мы пойдем свойства этого необыкновенного химического элемента, лишь когда примем во внимание все его молекулы как устойчивые, так и лабильные, как косные, так и активные.

Для углерода следует отличать три различных формы нахождения, все играющие важную роль в его истории. Это: 1) миллионы химических соединений углерода живого вещества, устойчивых лишь в биосфере (в пределах тела организма во время его жизни); 2) сотни минералов углерода, образовавшихся в результате земных химических реакций вне живого вещества и 3) продукты, отбросы и выдыхания живого вещества, мало-по-малу превращающиеся в минералы углерода и выходящие из химических равновесий жизни.

Медленное и непрестанное превращение органических отбросов и живого вещества после смерти в вадозные минералы углерода есть основное явление в геохимической истории как углерода, так и органогенных элементов O, H, N, S.

3. Рассеяние соединений углерода.

В результате этого процесса получается очень большое пространство соединений углерода, проникновение углеродом всей материи биосферы. Остатки организмов в ничтожных следах рассеяны повсюду: в водах, в почвах, в осадках, в морских илах, во всех минералах, образующихся в биосфере в результате какого бы то ни было процесса.

Путем геологических процессов вещество биосферы из нее уходит и проникает в более глубокие оболочки. Оно несет в них углистые остатки живого вещества, и этим фактом объясняется, что мы всюду находим биогенный углерод: нет земной материи, его не заключающей. Химическая природа этих следов

углерода не всегда достоверно известна, но все заставляет думать, что это различные углистые тела, мало-по-малу превращающиеся в исходное стойкое состояние свободного, не связанного, углерода. Повидимому, можно утверждать, что существуют две более распространенные и более стойкие группы промежуточных тел. Одна из них содержит кислородные соединения, гумусовые вещества, другая приближается к углеводородам. В конце концов обе они превращаются в самородный углерод, но углеводороды в вадозных и фреатических слоях очень устойчивы в течение долгого геологического времени. Химический характер этих следов находится в генетической связи со строением углеродных соединений, из которых они происходят.

Это рассеяние углерода, несомненно, лишь отчасти напоминает рассеяние других элементов, как иод или бром, так как конечный продукт этого рассеяния — чистый природный углерод — в последней стадии — графит — твердое тело, не существующее в жидком и газообразном состоянии при условиях земной коры. Ничто здесь не указывает на выделение атомов углерода; впрочем, все возможно в этой столь мало изученной области.

Это рассеяние углерода имеет выдающееся значение для его геохимической истории. Два факта объясняют его механизм: свойства живого вещества и существование многочисленных газообразных соединений углерода, часто очень неустойчивых.

Следы углерода, всюду нами находимые, несомненно, различного происхождения. С одной стороны, это последние остатки организмов, микроскопических и ультрамикроскопических, с другой стороны, конечные продукты, — твердые и жидкие, — разложения газообразных углеродистых молекул, находящихся в состоянии чрезвычайного рассеяния, напр., в земных газах.

Организмы, изменяясь после своей смерти, дают углеродистые газообразные, твердые или жидкие продукты. Это — явление, неизменное для всех организмов, крупных и мелких, видимых и невидимых. Однако, в остатках зеленых земных растений и больших водорослей заметную роль играют твердые гумусовые продукты. Углеводородные продукты более многочисленны в остатках животных, бесхлорофильных растений, одноклеточных водорослей, спор и семян. Самые мелкие организмы имеют наибольшее значение в рассеянии углерода.

Существование мельчайших микробов и ультрамикробов не столь просто, как это часто представляется. Каждый из них

содержит часто больше 30 химических элементов, и вместе с тем он резко и вполне отделен от окружающей материи. Это центры химической деятельности, в форме резко отграниченных масс жидкой или твердой материи в состоянии крайнего распыления. Мельчайшие организмы по величине приближаются к молекулам.

Живое вещество—одна из самых могущественных сил распыления материи в земной коре. В земной коре нет другой силы, равной ей. Распыленная материя всегда наиболее химически деятельная. Этот факт нам хорошо известен по нашей лабораторной практике.

Чтобы распылить какое-нибудь вещество, нужно сделать усилие, победить сцепление ее частиц. И для крошечных частиц жидкостей или твердых тел существует граница, которую нельзя преступить без их разрушения, граница, находящаяся в связи с силами сцепления и поверхностными, капиллярными силами. Материя порошкообразная, распыленная, существующая лишь на поверхности нашей планеты. Она медленно, но неуклонно слеживается, сцепляется. Ее уже нет в верхней метаморфической оболочке: действие давления, химические и коллоидальные процессы спаивают всю пыль в твердые массы. На поверхности силами, распыляющими материю, являются разложение газообразных продуктов с образованием твердых или жидких налетов, взрывы вулканов или диатрем, твердые или коллоидальные продукты жидких брызг, водных или нефтяных растворов, истирание, производимое деятельностью воды и атмосферы, живое вещество.

Живое вещество — самое могущественное из всех явлений распыления, единственное непрестанно действующее и в конце концов распыляющее наибольшую массу земной материи.

Оно образует особую пыль, микробов, ничтожных по размерам, но имеющих очень сложный химический состав, проявляющих очень большую химическую деятельность и обладающих совершенно исключительной на нашей планете способностью быстро увеличивать количество тождественных им, пылинок-неделимых.

Способность размножения организмов есть величайшая сила, меняющая структуру биосферы. В ней ярче всего проявляется влияние организмов на миграцию атомов, их геохимическая энергия. Для микробов проявлением их геохимической энергии

является быстрое создание путем размножения увеличивающихся в геометрической прогрессии с ходом времени мельчайших пылинок, быстрое распыление земной материи.

435

По умирании микробов создаются еще более мелкие части, но такое умирание — в этой группе организмов — является относительно редким явлением.

Размеры живых организмов достигают пределов дисперсионных частиц (мицелл) коллоидов. Они, несомненно, порядка величины 10^{-5} см, может-быть, опускаются до 10^{-6} см, но не могут доходить до пределов атомов и молекул (10^{-7} — 10^{-8} см).

Жизнь при распылении вещества своим размножением достигает физической границы распыления.

Микробы умирают и разлагаются на мельчайшие части только при катастрофах, в исключительных случаях, но мельчайшая углеродистая пыль создается и при жизни и особенно после смерти других больших организмов в тех случаях, когда эти организмы не являются материалом для жизни других.

Все эти остатки богаты углеродом. Часть их дает газообразные продукты — CO_2 и другие, другая часть превращается в мельчайшую твердую и жидкую углеродистую пыль. Эта пыль, благодаря могучим силам капиллярности, пропорциональным ее поверхности, поглощается и задерживается всеми внешними телами — жидкими или твердыми, вадозными минералами, водами и газами, живым веществом. Мельчайшая пыль плавает в газах, дает коллоиды (и мути) в воде, проникает и прилипает к твердым телам. В конце концов, они находятся всюду в материи биосферы, и их масса в общем огромна.

Другой источник рассеяния углерода, образования мельчайших углистых частиц — это разложение природных газов.

Углеродистые газы отчасти определенно биогенного происхождения. Живое вещество выделяет очень большое число газообразных продуктов, з а п а х о в. Они химически изменяются, частью давая твердые или жидкие, косные устойчивые продукты, как, напр., продукты окисления терпенов.

Газовые продукты, как, напр., CH_4 и другие, часто образуются в следах во время гниения и разложения живого вещества после его смерти в среде, бедной кислородом, напр., под водой, богатой продуктами жизни. Очень разного происхождения — ювенильного или фреатического, — они поднимаются из глубины обычно в состоянии следов, путем медленного непрерывного испарения.

Газы эти, рассеянные в окружающей атмосфере, разрушаются благодаря действию различных причин, оставляя часто тонкую твердую муть. Так, например, разрушаются метан и другие углеводороды под влиянием электрических разрядов во время гроз.

436 Твердые осадки этих газовых эманаций, очень рассеянные, дают налеты, неуловимую тончайшую углистую пыль, оседающую на всех окружающих телах; эти остатки мало-по-малу переходят в чистый углерод или, в случае присутствия деятельного кислорода, в угольную кислоту.

Почти несомненно, что аналогичное разложение газообразных соединений углерода, в форме твердой пыли, совершается также в фреатических областях. Ибо мы видим в этих областях образование графита, появившегося вследствие разложения газообразных тел (графит Цейлона, Пассау и др.), нам неизвестных, иногда отождествляемых с окисью углерода или с металлическими карбонилами. Но пылеобразные продукты — в условиях этих оболочек — обыкновенно вновь кристаллизуются и быстро собираются в большие массы.

437 Не следует пренебрегать этими рассеяниями углерода. Мы знаем, что в геологии в течение почти бесконечно долгого времени мелкие явления дают в конце концов самые грандиозные эффекты.

Такая распыленная материя, с одной стороны, дает тела разнообразного строения, иногда очень сложного, могущие вступать более свободно и быстро в химические реакции, нежели большие твердые или жидкие массы одинакового с ними веса. С другой стороны, ничтожные жидкие или полужидкие капли и пленки могут при благоприятных условиях собираться в большие жидкие массы. Мы видим значение этого факта, например, в геологической истории нефтей, природных углеводородов. Но, даже оставаясь в состоянии рассеяния, каждая из таких углеродистых частиц превращается с течением времени в CO_2 или в графит, проходя через определенный цикл изменения.

Углерод таких рассеяний, так же как и углерод живого вещества и вадозных минералов, происходит в конечном итоге из соединений ювенильного углерода, углерода глубоких слоев земной коры. На земной поверхности постоянно наблюдаются газовые эманации, богатые углеродом, поднимающиеся из земных глубин.

4. Первичные соединения углерода.

Состояние наших знаний о первичных, ювенильных углеродистых минералах довольно печальное.

Нам недостает точных фактов, и невозможно дать истории ювенильного углерода чисто эмпирически, не прибегая к более или менее обоснованным гипотезам.

Часть такого углерода, повидимому, связана с мало известными и мало до сих пор понятыми процессами, совершающимися в самых больших глубинах земной коры, под гранитной оболочкой или у ее нижней границы. Предположения о неорганическом генезисе нефтей, существующие и вновь возникающие в истории науки, воспламенившие научное воображение таких ученых как М. Вертелло, Г. Абих, Д. Менделеев, Муасан, также показывают, что геохимическая история углерода представляет далеко еще неразгаданную загадку.

438, 439,
440, 441

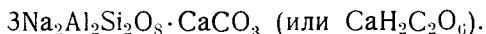
Попытаюсь сперва изложить известные факты.

Первичные минералы углерода редко сосредоточиваются в значительных скоплениях. Наиболее обычны окисленные газы и углеводороды. Среди них преобладает угольная кислота, соединение, наиболее богатое кислородом.

Ювенильные соединения разделяются на две очень различных группы: окисленные соединения и соединения, лишенные кислорода.

Окисленные соединения могут с своей стороны быть разделенными по кислороду на соединения бедные и богатые им.

К первой группе относятся углекислота, карбонаты, карбоносиликаты (как сперрит и другие), каолиновые силикаты с карбонатной группой в боковой цепи. Все они находятся в генетической связи с угольной кислотой. Угольная кислота при определенных условиях либо соединяется с основаниями, давая соли, либо образует продукты присоединения к алюмосиликатам, таковы, например, кальциевые канкриниты:



Существуют изверженные породы богатые канкринитами, 442 содержащими до 1,7% CO_2 , (т.-е. 0,74% С). Изверженные породы с ювенильным кальцитом еще богаче углеродом: трахит из Бильбао содержит 7,69% CO_2 (т.-е. 2,09% С), фенит из Норвегии (по Бреггеру) 35,2% CO_2 (т.-е. 9,6% С). 443

Ко второй группе — бедных кислородом — относятся CO , CSO , CH_2O (муравейный альдегид), CH_2O_2 (муравьиная кислота). Это обычно тела, образующиеся при высоких температурах при восстановлении угольной кислоты в присутствии воды и сероводорода. Они не очень редки, но встречаются лишь в состоянии следов в ювенильных и фреатических газах. Несомненно, что

444, 445 тиоугольная кислота и производные муравьиной кислоты играют очень важную роль в химических явлениях земной коры.

Возможно, что окись углерода в значительной части независима в своем генезисе от углекислоты. Есть указания на возможность нахождения карбонильных соединений железа и никеля. 446 Соединениями, лишенными кислорода, являются газообразные углеводороды — CH_4 , C_2H_4 и другие — и металлические карбиды.

Очевидно, что химические условия образования этих двух групп, окисленных и лишенных кислорода тел, несовместимы друг с другом. Их существование, быть-может, является показателем их происхождения из различных глубин магмосферы.

Это логическое заключение казалось наиболее простым и вызвало многочисленные гипотезы. История этих идей показывает, что все эти гипотезы и все с ними связанные представления слишком просты, и что природное явление более сложно.

Можно было предположить, что в глубинах, бедных кислородом, образуются углеводороды, и что в магмах, более близких к поверхности, образуется угольный ангидрид. Образование углеводородов объяснили действием воды при высокой температуре на металлические карбиды. Опыты доказали, что углеводороды действительно образуются при подобных условиях. По аналогии с метеоритами часто допускают существование металлических карбидов в земных глубинах. Нахождение нефтей считали проявлением их разложения.

Более глубокое изучение вопроса совершенно разрушило это слишком простое построение, но вместе с тем оно поставило на очередь совершенно новые проблемы об ювенильном углероде. Прежде всего ювенильные, окисленные минералы углерода могут быть в конце концов отнесены к CO_2 , так как карбонаты разлагаются при температуре магматической оболочки и даже, вероятно, глубоких областей метаморфической оболочки. Алумосиликаты, содержащие углерод — канкриниты, скаполиты и другие, — являются вторичными ювенильными и фреатическими

продуктами; они образуются при действии углекислоты на каолиновые ранее существовавшие алюмосиликаты, вероятно, на полевые шпаты, при высоких температурах. Карбонатосиликаты очень редки.

В глубоких фреатических и ювенильных областях угольный ангидрид очень стоек и, повидимому, очень обилен. Однако, мы почти не находим там необходимых условий для его синтеза (независимого от раньше образовавшихся карбонатов).

Мы знаем, что в глубоких слоях земной коры нет свободного кислорода. Находимые в газах терм его небольшие количества, вероятно, другого происхождения (стр. 46). Вместе с тем известны многочисленные вадозные и фреатические химические процессы, дающие угольную кислоту, зачастую при разложении карбонатов. Очень рассеянные углистые, богатые углеродом или состоящие из чистого углерода тела, окисляются в присутствии свободного кислорода, давая CO_2 , но лишь в фреатических или вадозных областях. Эти соединения, достигнув более глубоких слоев, лишенных свободного кислорода, в жидких или вязких магмах, растворяются и вновь выкристаллизовываются в виде графита или алмаза или, быть-может, испаряются в форме углеводородов.

Угольная кислота, выделяющаяся в огромных количествах во время вулканических извержений и в потухших вулканических областях, происходит, по крайней мере частью, не путем ее ювенильного синтеза, но вследствие разложения раньше образовавшихся карбонатов, благодаря высокой температуре глубоких слоев коры и плавления метаморфических и вадозных пород. Эти породы, заключающие известняки, мало-по-малу расплавляются, спускаясь в глубокие слои. Аналогичные явления наблюдаются при захвате пород, содержащих углерод и карбонаты, магмами, поднимающимися в более высокие оболочки.

Угольная кислота вулканов и терм, несомненно, ювенильная в том смысле, что она происходит из ювенильных областей (глубоких слоев коры). Но ее происхождение всегда в сущности вадозное или фреатическое, как это доказал Р. Делькескамп для терм. 447

Углекислота устойчива в самых глубоких областях земной коры, но не всегда она является в них продуктом магматических реакций. Можно видеть подтверждение этого явления в том, что массы вулканической угольной кислоты сравнимы

по величине с массами угольной кислоты вадозного или фреатического происхождения.

Количество угольной кислоты ювенильного происхождения, достигающее земной поверхности, огромно. И. Буссенго
448 первый в 1833 г. отметил важность этого явления для равновесия угольной кислоты в атмосфере.

Эта кислота часто является господствующей в массе вулканических газов и является там в почти чистом состоянии.
449 Так, Ф. Фуке нашел в газах Санторина 95,37% CO_2 , Ш. Сент-Клер-Девиль в моффетах Эоловых островов
450 (в Планарии) 97,10%. Она в особенности преобладает среди вулканических газов старых вулканических областей, где ее выделение является последней стадией бывших извержений. В газовых эманациях действующих вулканов она часто играет лишь очень второстепенную роль. В третичных — потухших — вулканических областях, например, в Европе в Эйфеле, в Оверне, в Рёне, в Фогельсберге, в Сицилии, в Италии, на Кавказе газовые испарения почти чистой CO_2 происходят со времени третичной эпохи непрерывно в течение миллионов лет.

Тот же факт известен — для других континентов: Азии,
451 Северной Америки, Новой Зеландии. Буссенго рассчитал, что количество CO_2 , выделяемое Котопахи в течение одного года, более 10^{11} кубических метров, следовательно, больше угольной кислоты, ежегодно выделявшейся процессами жизни и заводами Парижа его времени (70 — 80 лет назад, 3×10^6 кубических метров).

Углекислые испарения в области древних третичных вулканов дают еще большие ее количества. Общее количество такой углекислоты, вероятно, того же порядка, как количество угольной кислоты гидросферы и атмосферы.

Не меньшие количества ее дают термы, сосредоточенные в числе десятков тысяч в областях земной коры, подверженных орогенетическим движениям.

Газовые струи, азотные и метановые, не связанные с вулканическими явлениями, всегда ее содержат. В некоторых выделениях угольная кислота является господствующей составной
452 частью. Эти струи сосредоточены в дислоцированных областях, подвергающихся незаконченным орогенетическим и тектоническим движениям. Иногда устанавливается связь этих выделений с нефтями и каменным углем. Газы, сопровождающие выходы

нефтей, часто бывают богаты угольной кислотой, большая часть которой, несомненно, фреатическая, а не ювенильная. 453

Кварц гранитных пород содержит углекислоту в виде микроскопических включений в жидком или газообразном состоянии в количестве, несомненно, объясняющем выделение угольной кислоты термами для некоторых областей Западной Германии, как это доказал Ласпейрес. Он вычислил, что один кубический километр гранита Рейнских провинций содержит в этой форме 9×10^{11} литров газообразной CO_2 . Из его расчетов следует, что общее количество угольной кислоты в гранитах гораздо больше, чем в атмосфере. 454 455

Выделение угольной кислоты в вулканических областях, части терм и при разложении гранитов находится в очевидной связи с магматической угольной кислотой. Часть этой углекислоты, несомненно, фреатического или вадозного происхождения, получается при расплаве магмой карбонатов, главным образом, известняков (CaCO_3) и доломитов (CaMgC_2O_6).

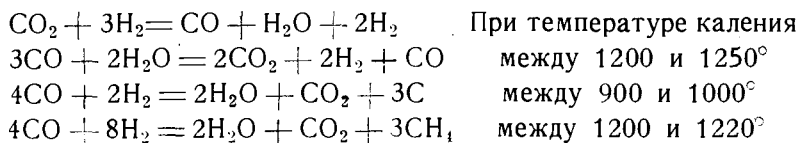
Вся ли угольная кислота такого происхождения? Повидимому, это не так.

Изучение вулканических газов доказывает, что ювенильное образование их угольной кислоты очень вероятно; это, однако, синтез очень ограниченный по размерам.

Исследование А. Готье, Т. Чемберлена, К. Гюттнера, А. Брена, А. Дея и Е. Шеферда, Т. Джаггара, Е. Аллена, газов вулканов и горных пород, так же как лабораторные опыты, доказывают, что CO_2 может образовываться при условиях, имеющих налицо при генезисе магматических газов. Эти газы в общем могут быть сравнимы с газами, выделяющимися при нагревании или плавлении изверженных пород в пустоте или в атмосфере, лишенной кислорода и паров воды. Выделяющиеся при этом газы являются отчасти продуктами новых химических реакций, не заключаются как таковые в породах, ибо часть их образуется во время опыта при взаимодействии воды и соединений железа, входящих в состав породы. 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463 464

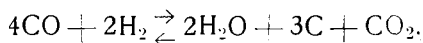
Следует отметить следующие газы, встречающиеся в большом количестве в вулканических испарениях: H_2O , H_2 , CH_4 , CO_2 , CO , муравьиная кислота и CSO . Кроме того, не нужно забывать, что вода, выделяемая при плавлении и нагревании горных пород, и часть воды магм, происходит благодаря распадению соединений — алюмосиликатов и силикатов.

Вот несколько химических реакций, экспериментально изученных и, повидимому, прочно установленных:



Таких уравнений, весьма правдоподобных, можно написать много.

Мы видим, что CO_2 постоянно разлагается и вновь образуется во время этих реакций, при чем тела, давшие ей начало — C , CO , CH_4 — могут также образовываться под влиянием ее разложения. Возможно, что CO , CH_4 (и другие углеводороды), выделяющиеся в вулканических газах, являются продуктами ее разложения, кислород же, который в ней содержался, мог быть захвачен соединениями железа. А. Готье думал, что CO происходит вследствие восстановления CO_2 солями закиси железа (реакция, действительно идущая при этих условиях), Гюттнер объяснял происхождение CO действием H_2 на CO_2 (тоже реакция, несомненная при этих условиях). Но возможно, что CO является продуктом еще более важной реакции, также исследованной А. Готье:



Это обратимая реакция, в которой участвует свободный углерод, несомненно, находящийся в достаточных количествах в магмах и изверженных породах. При действии воды и угольной кислоты в глубинах коры могут образовываться большие массы CO , неизбежно превращающиеся на земной поверхности, в присутствии свободного кислорода, в CO_2 , как то доказал Т. Джаггар. Как известно, CO в биосфере находится в небольших количествах.

Таким образом, изучение этих сложных равновесий не дает указаний на ювенильное образование CO_2 , если только таким указанием не является превращение CO , могущей давать CO_2 под влиянием паров воды при температуре 1200—1250. Первичным ювенильным минералом будет чистый углерод (графит), дающий CO и CO_2 в качестве вторичных ювенильных же продуктов. Графит, проходя через CO , превращается в CO_2 , но

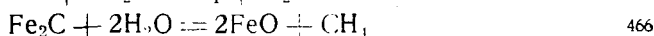
количество CO_2 , образовавшееся таким путем, не может быть очень велико.

Возможно, что это одна из реакций, поглощающих кислород в наиболее глубоких слоях земной коры.

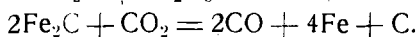
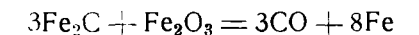
Мы до сих пор оставались в области достоверных фактов. Мы видим, что CO , CO_2 , CH_4 могут образовываться при условиях земных глубин за счет других ювенильных тел, присутствие которых несомненно (C , CO_2 , H_2O , соединения железа).

Есть, однако, правда, менее несомненные факты, указывающие, что условия реакций более сложны. Предлагались гипотезы о вероятном существовании в глубинах коры больших количеств первичных ювенильных продуктов, металлических карбидов и CO , вызывающих те же реакции, с выделением больших количеств углеводородов.

Думали и продолжают думать, что в природе идут химические реакции, аналогичные изучаемым в наших лабораториях, напр.,



или возможным теоретическим реакциям, 466



Часто допускают, что окись углерода и первичные металлические карбиды находятся ниже силикатовой оболочки, в металлическом земном ядре. Усматривали признаки их существования в больших скоплениях углеводородов, нефтей, всюду наблюдаемых в очевидной связи с орогенетическими движениями и с тектоническим строением земной коры. Однако, эти движения и связанное с ним строение земной коры, несомненно, являются поверхностными явлениями; в верхних оболочках сосредоточена и вода. Проникновение ее в металлическое ядро, если оно существует, гипотетично и противоречит всем нашим геологическим представлениям.

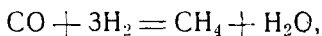
Есть, однако, факты, доказывающие, что металлические карбиды, когениты, а может-быть, и другие, действительно выпадают в некоторых изверженных породах при условиях, не противоречащих образованию углеводородов под влиянием горячей воды. К сожалению, эти находения хорошо изучены лишь

467 в базальтах остр. Диско и других островов западной Гренландии. Карбиды железа, содержащие никель, находятся здесь в явной связи с металлическим железом, и их содержание значительно больше, чем в их находениях в метеоритах. Углерод этих базальтов — без достаточных оснований — объясняли особыми явлениями: захватом расплавленным базальтом при его поднятии на земную поверхность нижележащих масс каменного угля.

Однако, те же карбиды существуют в других месторожде-
468 ниях самородного земного железа, и очень возможно, что более тщательное изучение этих минералов выяснит их повсеместное существование в глубинных базальтах (базальтовых покровах).

Но даже и в этом случае образование углеводородов в связи с металлическими карбидами не может иметь большего значения в истории больших скоплений нефти. Геология и химия нефти сделали за последние годы большие успехи; явление в общих чертах своих кажется ясным. Мы должны считать нефти фреатическими минералами, образующимися, повидимому, вне биосферы, но связанными с живым веществом. Организмы, несомненно, являются исходным веществом нефтей; возможно участие анаэробных бактерий и при их синтезе. Нефти не могут содержать сколько-нибудь значительных количеств ювенильных углеводородов.

Раньше, чем перейти к генезису нефти, я хочу сказать еще
469 несколько слов об ювенильной окиси углерода. Действительно возможно, что эта окись существует без какой-либо генетической связи с CO_2 , так как следующая реакция, изученная Б р о д и,



(которая обратима, как все другие реакции газообразных тел), указывает на возможность ее образования при действии воды на метан.

Окись углерода, несомненно, очень устойчива при высоких температурах и должна собираться, не разлагаясь, в глубоких частях коры.

Это эндотермическое соединение, распадение которого на углерод и на угольную кислоту, идет медленнее по мере повышения температуры.

5. Нефти и их образование.

Химики и геологи, специально занимающиеся нефтью, обычно признают неювенильное происхождение больших масс жидких нефтей и их твердых продуктов, так же, как углеродистых газов, находящихся в очевидной генетической с ними связи.

Однако, вопрос этот не может считаться окончательно решенным, так как еще существуют последователи гипотезы о неорганическом генезисе нефтей.

470

Углеводороды должны в этом случае образовываться в частях планеты, расположенных под земной корой. Нельзя отрицать такой возможности. Но при современном состоянии наших знаний можно делать лишь почти недоступные проверке предположения о физических и химических условиях, царящих в этих областях. При этом мы не находим на земной поверхности каких-нибудь других признаков этих гипотетических реакций, кроме самих нефтей.

Это невероятно, если таково происхождение больших скоплений нефтей.

Более глубокое изучение химического состава природных нефтей поднимает новые проблемы в рамке этих идей, приводящие к новым гипотезам, еще менее доступным проверке.

Проще, поэтому, оставить в стороне эти сложные построения, аналогичные старым эпиклам астрономов, и попытаться понять историю нефти, оставаясь в пределах верхних оболочек земной коры, доступных нашему непосредственному изучению. В таком случае мы должны считать нефти минералами биохимического происхождения, подвергшимся метаморфизму.

Можно отметить два типа месторождений для больших скоплений нефти: 1) скопления в осадочных породах и 2) проникновение углеводородами битуминозных сланцев. Оба должны считаться частями единого явления. Нахождения в сланцах содержат наибольшие массы нефти. Это часто забывается.

Нефти являются смесями органических соединений, в которых преобладают углеводороды. Их состав в течение долгого времени считался мало разнообразным, так как сотни анализов давали — для нефтей разных местностей и очень различного геологического возраста — почти одинаковые отношения между С и Н.

471

С — колебался в пределах 83—86⁰/₀ (иногда до 87⁰/₀)

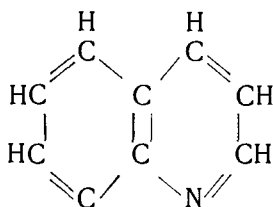
Н — » » 11—13⁰/₀ (иногда до 14⁰/₀).

Однако, в конце концов, убедились, что химическое строение этих углеводородов очень различно. Первая хорошо изученная нефть — пенсильванская — состоит почти исключительно из парафинов C_nH_{2n+2} , от CH_4 (газ) до $C_{18}H_{28}$ (последний жидкий) и даже больше. В. В. Марковников в первый доказал, что нефть Баку на Кавказе почти не содержит парафинов и образована новым классом углеводородов особого строения, названным им нафтенами. Их строение теперь выяснено. Это очень устойчивые углеводороды C_nH_{2n} кольцевого строения. В нефтях Калифорнии преобладают ароматические углеводороды — бензол C_6H_6 и другие. Есть нефти богатые C_nH_{2n} и C_nH_{2-r} , близкие к асфальтам. Мы теперь знаем, что всякая нефть состоит из смеси углеводородов очень различных в зависимости от геологических условий ее генезиса, ее истории и от состава тех первичных органических тел, из которых она происходят.

Но в каждой нефти, помимо углеводородов, существуют другие тела, долго оставлявшиеся без внимания. Не так давно американский химик Мабери доказал, что во всякой нефти есть азот. Нефти Баку и Калифорнии очень им богаты, но его находят даже в нефтях Пенсильвании, где его раньше не находили. Количество азотистых продуктов достигает в некоторых нефтях 10—20⁰/₀; в нефтях Японии количество азота достигает 1,5⁰/₀; в нефтях Калифорнии оно колеблется между 1,00—2,75⁰/₀. Эти азотистые соединения везде тождественны. Они ясно связаны с разложением азотистых тел животных и растений, белковых и других, и они не могут происходить из земных глубин, так как разрушаются при высокой температуре.

Человек разрушал и разрушает с расточительностью, свойственной невежеству, эти драгоценные продукты, не заботясь о будущем. Эти азотистые тела — производные метил-хинолеина. Это открытие имеет огромное значение для понимания генезиса нефтей.

Метил-хинолеины являются производными хинолеинов, содержащих в своем молекулярном строении ядра бензола и пиридина. Формула Кернера — наиболее вероятная, соответствует сложному ядру формы:



Метил-хинолеины — их всего 7, и они все известны — происходят из хинолеина заменой водорода в его различных положениях группами метила.

Хинолеины и метил-хинолеины, так же как пиридины играют огромную роль в строении азотистых органических соединений живого вещества; их получают, с большей легкостью, путем разложения весьма различных веществ — животных и растительных. Хинолеины составляют основу многих алкалоидов, и эти ядра — очень стойкие — чрезвычайно распространены в окружающем нас земном живом веществе. Образование алкалоидов в растительном царстве считают связанным с белками.

477

478

Невозможно представить генезис этих азотистых тел в нефтях в огромных массах, в количестве многих сотен тысяч, миллионов тонн, иначе чем в связи с живым веществом. Эти продукты не образуются при высоких температурах, но они достаточно устойчивы при температурах, несколько превышающих 100—150° Ц. Они должны разрушаться при температурах образования углеводородов в присутствии металлических карбидов, CO₂ или CO.

К тому же их неорганический генезис несовместим с геохимической историей азота. Азот представляет элемент, геохимическая история которого напоминает историю углерода, с глубокими изменениями, зависящими от газообразной природы самородного азота, собирающегося в огромных массах на земной поверхности. Часть свободного азота, несомненно, вадозного происхождения.

479

Свободный азот, отвечающий угольной кислоте в геохимической истории углерода, является главным ювенильным минералом для этого элемента; он устойчив во всех известных оболочках земной коры.

Возможно, что глубины ее содержат металлические нитриды. Сильвестрит — нитрид железа — образует иногда

480

*

481 налеты на лавах Этны; это вторичный продукт, образованный действием азота воздуха на расплавленные лавы. А. Брен (1905) указывает в лавах нахождение нитридов железа, как обычного тела, и вероятное нахождение гипотетического нитрида кремния (мариньякита). Эти наблюдения заслуживают внимания.

Выделение вулканами хлористого и фтористого аммония несомненно. Лишь часть их может быть связана с разрушением
482 азотистых остатков живого вещества, увлеченных лавой.

Аммиачные каолиновые алюмосиликаты, повидимому, находятся в изоморфных подмесьях минералов вулканических и изверженных пород, и существование первичного азота в этих породах кажется несомненным.
483

Быть-может, в них также находятся, как думал Готье, цианистые и роданистые соединения.

Но это всегда простые соединения, часто бинарные. Образование сложных соединений, аналогичных метил-хинолеиновым телам, никогда не наблюдалось вне действия живого вещества.

Лишь под его влиянием азот соединяется с углеродом, кислородом, водородом, серой.

Мы знаем другую силу, действующую в том же направлении, дающую более простые продукты, проявляющуюся в верхней земной оболочке, в атмосфере. Это электрические разряды и ультра-фиолетовые лучи. Под их влиянием образуются аммоний и окиси азота. Однако, эти последние реакции в конце концов неразрывно связаны с живым веществом, так как свободный кислород — всегда продукт жизни.

Образование метил-хинолеинов нефтей вполне соответствует геохимической истории азота, такой, как мы ее знаем в том случае, когда хинолеины являются продуктом фреатического изменения азотистых тел живых организмов. Оно совершенно необъяснимо и противоречит наиболее точно установленным эмпирическим фактам этой истории, если мы будем связывать его с магмами.

К тем же заключениям мы приходим при изучении других элементов нефтей, — серы, кислорода, фосфора. Их соединения всегда входят в нефти в различных пропорциях. Количество
484 серы достигает в нефтях Техаса и Луизианы 2,75%; часть ее содержится в виде растворенной свободной серы. Находящиеся в нефти соединения серы $C_nH_{2n}S$, тиофены, очень мало

известны; это, однако, очень стойкие соединения с циклическими ядрами. Это тела, соответствующие тиофену C_4H_4S , открытому В. Мейером в дегте каменного угля. 485

На этом частном случае мы опять сталкиваемся с общим явлением. Всюду в природе распространены тела с очень стойкими прочными ядрами кольцевого строения: соединения азота и серы нефтей, каолиновые алюмосиликаты, органические соединения каменного угля.

Происхождение серы нефтей, асфальтов и янтарей часто считают вторичным, думая, что они поглощают серу после своего образования: так на них легко действует H_2S , в природе столь распространенный. Однако, это ненужная гипотеза; она не может быть приложима к каменным углям, содержащим, как мы видели, серу в виде аналогичных циклических соединений. 486

Количество кислорода в нефтях достигает 6%. Трехпроцентное его содержание наиболее обычно. Изучение этих окисленных соединений, значительно превосходящих по своему количеству азотистые тела, было долго заброшено. Их долго считали вторичными продуктами, образовавшимися на поверхности под влиянием свободного кислорода атмосферы и вадозных вод. Это объяснение отчасти соответствует действительности. Несомненно, однако, что нефти содержат первичные окисленные продукты в довольно значительном количестве.

Таковы, например, производные нафтенных кислот, кислот жирного ряда или холестерина.

Присутствие последних вызывает, согласно очень вероятной гипотезе Маркуссона и Энглера, оптическую активность нефтей — вращение ими плоскости поляризации света. 487

Эта гипотеза не доказана, но нахождение производных холестерина в нефтях, повидимому, несомненно. Холестерин — одноосновой алкоголь, строение которого недостаточно известно, играет важную роль в биологических процессах. Он образуется в растениях, собирается в телах высших животных, получающих его лишь отчасти с пищей. В желтке яйца количество его превосходит 2%, еще больше его в мозге человека (2,5%). 488

Он находится в каждой животной ткани и жидкости. Его наблюдают в почвах.

Лишь в 1922 г. установили присутствие фосфора в нефтях Калифорнии ($0,01\%P$), в гораздо больших количествах, чем 489

в природных водах. Характер соединений, в которые он входит, неизвестен, но присутствие фосфора интересно, как следствии биогенного происхождения нефтей.

Оптические свойства нефтей дают новый довод, подтверждающий невозможность для них неорганического генезиса. Этот довод, повидимому, неопровержим и говорит в пользу их биогенного происхождения.

Все ювенильные углеводороды должны быть оптически не-
490 деятельными. Известна, как это доказал ПАСТЕР, лишь одна среда, создающая в природе энантиоморфные молекулы углерода — живое вещество. Симметрия природного явления одно
491 из его основных свойств. ПАСТЕР был в этой области одним из долго непонятых предтеч. Другой знаменитый француз —
492 ПЕТР Кюри обобщил это понятие и попытался дать общую теорию симметрии физических явлений. Он выяснил ее первостепенное логическое и эмпирическое значение и сравнил понятие симметрии с другим основным научным понятием, значение которого нам кажется несомненным — с понятием о протяжении. Он свел симметрию на основное свойство простран-
493 ства. Энантиоморфная симметрия какого бы то ни было явления может вызываться только причиной, которая сама обладает энантиоморфией. Живое вещество состоит из химических молекул, обладающих энантиоморфным строением, и оно может являться началом образования новых энантиоморфных
494 тел. Мы знаем, что живое вещество существует миллионы лет без перерыва, что в природных явлениях не существует самопроизвольного его зарождения.

Принцип *omne vivum e vivo* вполне входит в рамки обоснованного П. Кюри эмпирического обобщения.

Жизнь отсутствует в земных глубинах, там, где ищут генезиса нефтей. Чтобы объяснить в них образование энантиоморфных строений, подобных нефтям, необходимо допустить в них существование другой энантиоморфной среды.

Наши современные научные знания не дают нам на это никаких указаний. Оставаясь в области эмпирической науки, явление оптической деятельности углеродистого минерала неизбежно приводит нас к живому веществу, к единственной физической среде, в которой энантиоморфия существует для молекулярных построений, содержащих атомы углерода. Совершенно непонятно, что так долго пренебрегали оптической деятель-

ностью нефтей и что при создании многочисленных теорий ее генезиса ее не принимали во внимание.

Французский физик Био открыл в 1835 году оптическую 495
деятельность нефти неизвестной местности. Он не придал этому
значения, упомянул о ней между прочим среди многих других
тел в своих исследованиях вращения плоскости поляризации
света.

Это важное наблюдение было совершенно забыто. Русский 496
химик П. И. Вальден, по прошествии 55 лет, вновь нашел
его, подтвердил и указал несколько других таких же наблю-
дений, извлеченных из архивов науки. Он сделал из них выводы
относительно биохимического генезиса нефти, остающиеся
непоколебимыми донныне. После работы П. И. Вальдена сде-
лано было много определений оптической деятельности нефтей,
и в конце концов не нашли нефтей оптически недеятельных. 497
Био имел в своих руках совершенно необыкновенную нефть,
дававшую очень большое левое вращение. Очень долгое время
все изучаемые нефти давали лишь правое вращение, и лишь
несколько лет после П. И. Вальдена нашли несколько 498
нефтей, имеющих левое вращение, но гораздо более слабое, чем
то, которое было изучено Био. Факт остается прочно уста- 499
новленным: нефти — тела, обладающие оптически
деятельным строением; такие соединения угле-
рода создаются кругом нас только живым веще-
ством. Все минералы углерода, не имеющие прямого биохимического генезиса — оптически инертны. Резко определенное преобладание одного правого направления вращения замечательно, так как в живом веществе имеется преобладание левого вращения. Возможно, что углубленное изучение этого факта даст ключ к разрешению всего вопроса. Надо иметь 500
в виду, что резкое преобладание одного определенного вращения еще более ярко выявляет энантиоморфную среду образования нефтей. При этом условии трудно допустить возможность ее генезиса в земной коре вне живого вещества.

Химическое изучение нефтей приводит таким образом к заключению о биогенном их происхождении и о том, что ювенильные углеводороды не могут играть в них большой роли.

К тому же выводу приводит изучение их биологами и геологами.

Нефти не являются вадозными минералами. Они не образуются в результате выветривания в присутствии кислорода. Это фреатические минералы, даже если температура их образования не очень высока. Но так как их первичное вещество не может происходить из глубоких областей земной коры, то его нужно искать в биосфере — в живом веществе.

Остатки организмов не дают обычно нефтей. В биосфере должны существовать особые условия разложения живого вещества, которые смогли бы привести к образованию нефтей. Их долгое время не знали, делали лишь более или менее вероятные предположения, которым сами авторы часто не придавали большого значения. Можно в архиве науки найти много таких теорий, часто приближавшихся к современным утверждениям науки, например, идеи, высказанные в 1850—1860 годах известными геологами — американцем С. Ньювери и русским академиком Г. Авигом.

Лишь в нашем веке сумели открыть среди сложности природы те ежедневные явления, долго казавшиеся незначительными, которые в действительности порождают грандиозное явление генезиса нефтей.

Понадобилась для понимания их тяжелая и углубленная коллективная работа. Образовались новые науки: болотоведение, экология растений, лимнология; изучение торфов и илов приняло новое направление.

Зарождение нефти в биосфере связано с разрушением отмерших органических веществ животных и растений в водных, пресных, может-быть, солоноватых бассейнах суши.

Оно могло быть выяснено только после того, как происходящие вокруг нас такие процессы стали сами по себе предметом тщательного научного изучения и когда в основных чертах была выяснена картина образования природных углей. Если мы возьмем процесс в целом, то нефти и природные угли явятся разными членами одного единого природного процесса — разрушения отмерших организмов под водой — вне доступа свободного кислорода.

Основное значение имело медленно создавшееся убеждение, что получаемые в результате такого разложения углеродистые минералы различны не только в зависимости от условий разложения, но и от химического состава тех организмов, которые дали им начало.

В этом отношении огромное влияние имели работы конца XIX и начала XX века французского палеофитолога Б. Рено, творение которого было не понято современниками, и его ученика Ш. БЕРТРАНА. Они выяснили образование богхедов, битуминозных углей и доказали их резкое отличие от других углей как в отношении организмов — одноклеточных водорослей и мелких животных, — которые им дают начало, так и в отношении их химического состава и строения. Они ясно видели связь этого процесса с образованием углеводов.

Другой немецкий палеофитолог Потонье, обратившись к наблюдению современной природы и современных процессов разрушения отмерших организмов под водой, выявил их разнообразие, их зависимость от организмов и указал, что в иле озерных бассейнов накапливаются продукты — сапропели, которые резко отличны от природных углей, образованы в значительной мере животными организмами и планктонами, богаты углеводородами. Каменные угли, связанные с древесной растительностью, не могут образоваться в результате их изменения.

Потонье и другие создали классификацию природных продуктов распада остатков организмов, каустобиолитов, как их называют. Оставляя все частности, не имеющие значения для нашей цели, можно отметить три резко отличных типа такого изменения: 1) продукты разложения одноклеточных водорослей и мелких животных — получают богатые углеводородами битуминозные сланцы, богхеды и т. п., 2) продукты разложения болотной зеленой моховой и травяной растительности, — получают торфы и 3) продукты распада лесной, древесной, болотной растительности — создаются каменные угли.

Несомненно во всех этих случаях может идти речь только о преобладающем процессе. Изучение современных процессов — водовместилищ и измененных остатков — дает возможность восстанавливать картину былого во всех нередко мелких подробностях.

Процессы распада, дающие торф, битуминозные угли или каменные угли идут в бескислородной или бедной кислородом среде. Они идут в биосфере или в близких к ней участках.

Повидимому, сейчас выясняется, что процесс образования этих минералов, — биохимический; огромную роль в создании природных углистых соединений играет анаэробная жизнь — бактерии, которые проникают в земную кору глубже, чем мы

думали, доходят до областей, лежащих далеко за кислородной поверхностью, за корой выветривания, в области ровной, неизменной температуры, превышающей среднюю температуру воздуха. Здесь условия химических изменений резко иные, чем в тех водоемах, в которых жили или живут организмы.

Это достигается обычно в результате особых геологических процессов, когда бассейны, скопившие разлагающееся живое вещество, замирают, покрываются осадками и этим путем или под влиянием движений земной коры переходят в более глубокие ее области — за пределы коры выветривания.

Изучение разрезов торфяников или сапропелей ясно показывает, что химическое изменение идет уже в низших глубоких их слоях, которые уплотняются и переходят в торфы и сапропелиты (битуминозные сланцы), содержат химически измененные продукты жизни.

Образование конечных продуктов происходит в геологически ничтожное время при существовании благоприятных условий. Признаки такого быстрого образования — нахождение раковин, тела которых превратились в нефть, или валунов каменного угля в промежуточных прослойках тех же каменноугольных залежей — долго смущали исследователей. Они становятся понятными, если признать необходимым биохимическое происхождение всех этих тел, участие в процессах их образования анаэробных бактерий.

Мы сейчас находимся лишь в начале микробиологического изучения образования каустобиолитов; в ближайшее время, очевидно, наши взгляды утончатся и станут более ясными и четкими. Но уже сейчас неизбежность признания участия анаэробов, о которых мы очень мало знаем, ставит ясные границы той области, в которой может идти процесс нефтеобразования.

506

Он не может выходить за пределы существования жизни. Температура едва ли много превышает $60-70^{\circ}$, и, вероятно, ниже. Более высокая температура должна вообще приводить к образованию газообразных продуктов и к исчезанию в данном месте углеродистых соединений. Едва ли таким образом (принимая во внимание термический градиент земной коры) это образование будет происходить глубже 1,5 километра; вероятнее всего, оно идет в пределах сотни, немногих сотен метров.

Затем биохимическое разложение остатков организмов неизбежно должно идти и, как мы знаем, идет для разных

организмов очень различно. Организмы, разбросанные среди других им чуждых организмов, дают те же продукты, которые характерны для данного вида и для данного его химического состава. Получение разнообразных каустобиолитов связано с значительным преобладанием организмов определенного химического состава. *Нефть, каменный уголь, торф, битуминозный сланец зарождаются в своих соединениях еще в организмах.* Мы видим здесь проявление чрезвычайно часто забываемого явления — большого химического разнообразия живых организмов.

507

Основным фактором образования нефтей и других каустобиолитов является образование на земной поверхности больших скоплений организмов определенного химического состава и создание условий, благоприятных для их подводного разложения.

Все, что мы знаем сейчас об отложениях каустобиолитов, указывает, что их образование шло в огромном большинстве случаев там, где жили те организмы, вещество которых изменилось в нефть или в каменный уголь. Переместились в огромном большинстве случаев не сами организмы, но их места обитания.

Это верно и для жидких продуктов таких, как нефть. Огромное большинство месторождений нефти отвечает местам ее зарождения и создания. Так называемая «миграция» нефти, благодаря ее легкой подвижности, является в общем вторичным, не характерным явлением.

508

Этому не противоречит и то, что нефть тесно связана в своем нахождении с дислокациями земной коры и сосредоточивается в областях, тектонически нарушенных. В таких же областях сосредоточиваются и залежи каменных углей. Это связано не с подвижностью нефти, а с нахождением в этих областях благоприятных условий для создания каустобиолитов (благоприятный режим вод) и для сохранения остатков организмов.

В этих областях, находящихся в движении, (напр., в связи с геосинклинальными перемещениями — по их краям), появляются благоприятные условия для создания пресноводных бассейнов и их опускания, т.-е. условия для образования сгущений жизни и мощных пластов каустобиолитов.

Мы увидим (стр. 215), что только ничтожная часть вещества организмов собирается в виде каустобиолитов. Это только

та часть, которая выходит из жизненного цикла (стр. 212), какая-нибудь сотысячная или миллионная часть химических элементов, проходящих через живое вещество. Вся остальная масса элементов удерживается живым веществом в поле своего действия.

Эта ничтожная часть представляется, однако, нам в окружающей нас природе в огромных массах нефтей или каменных углей, в сотнях миллионов тонн углерода. Она может создавать эти массы только в исключительных геологических условиях, в таких, которые позволяют ей геологически быстро выходить из поля действия живого вещества, т.-е. из биосферы, в частности из коры выветривания. Такие условия существуют только в областях больших тектонических нарушений.

Получится ли при этом нефть или уголь, определяется прежде всего характером того скопления живого вещества, которое образовалось в биосфере, на суше и которое выведено затем геологическими причинами за пределы биосферы.

Нефти и угли образуются в определенных типах сгущений жизни биосферы, только в одном их типе — в пресноводных (иногда солоноватых) сгущениях суши.

Химический характер — состав — организмов сгущений определяет генезис того или другого из этих минеральных образований.

В результате образуются не только физически различные продукты, «твердые каменные угли и жидкие нефти», но и химически разные смеси.

Сейчас химия каменных углей делает быстрые успехи, и перед нами открывается резко отличная картина от той, которая указана была мною для химии нефти (стр. 164). Углеводороды играют в ней второстепенную роль, на первое место выступают сложные производные, повидимому, ароматического характера, производные бензольного ядра, главным образом, лигнина. И здесь, как и в других природных соединениях, в основе находятся молекулы с устойчивыми кольцами элементов (стр. 165).

Если бы наши знания химии организмов разных их видов были хотя бы столь же значительны, как знание химии нефтей и каменных углей, мы бы, очевидно, в ней могли различать типы организмов, столь же резко химически отличающихся друг от друга как нефти или каменные угли.

Но сейчас только пробуждается внимание к этим областям биологии.

Развитие наших представлений о генезисе каустобиолитов еще не закончено, и указанные здесь основные черты его далеко не общепризнаны. Но изучение истории мысли в этой области приводит к тем же выводам, как и непосредственное изучение эмпирических фактов. Это является доказательством правильности основных черт данной здесь картины.

Решительный толчок научной мысли дали работы Б. Рено и Ш. Бертрана, которые доказали резко различное происхождение различных природных углей. Это был луч света, осветивший огромную работу человеческой мысли, направленную на изучение этих основных тел нашей цивилизации.

Работа поколениями шла разрозненно; в отдельных каменно-угольных бассейнах детально выяснялась их частная история; обобщений не делалось; с современной природой явление обычно не сравнивалось. Повидимому, современные идеи впервые наиболее ярко сложились в старых работах бельгийских геологов. Их выразил бельгийский инженер А. Бриар, развивая идеи В. Буги (1855). Но его работа не обратила на себя внимания и не оказала влияния.

Значительно позже американские ученые Ортон и С. Ньюбери ясно подошли к современным представлениям.

Среди этих работ геологов и палеофитологов много было крупных исследований. Я не могу их здесь перечислить, но упомяну лишь о работах Фильоля, Гранд Эри, М. Д. Залесского. Все они ярко осветились основным открытием Рено и Бертрана.

Образование каменных углей имеет связь с болотами, с большими скоплениями растений, свойственных странам с сырым климатом, в устьях и дельтах больших рек, в равнинах их бассейнов, на берегах континентов и островов, в низинах областей приливов и отливов. Это все большие сгущения жизни, где масса органической материи, находящейся в состоянии медленного разложения, огромна. Возможно, что это самые большие сгущения жизни, нам вообще известные на суше.

Болотная, травяная и моховая растительность не может дать начала нефтям и каменным углям. Для лигнитов и каменного угля исходными являются болотистые леса разных климатических зон в тропических океанических равнинах или в болотистых равнинах бассейнов современных больших рек. Если геологические условия благоприятны, болотистые леса

Флориды—леса таксодия—могут через долгие тысячелетия дать пласты каменного угля. Даже теперешнее богатство лесом в Америке связано с этими лесами таксодиев, дающих на гектар
522 массы древесины, неведомые для лесов наших широт. *Воз-
можными источниками залежей каменного угля могли бы явиться
(если бы не было человека) и другие болотистые леса типа
523 Дисмального болота в Виргинии и Северной Каролине, или
524 озерных прибрежий, подобных Верхнему Кламату в Орегоне.
Другое физико-географическое явление должно быть принято
во внимание — скопления жизни в бассейнах великих рек, нахо-
дящихся в девственном состоянии. Амазонка, Ориноко, Замбези,
Обь являют собой такие примеры с лесами их берегов, с боль-
шими заливными долинами, с болотами и со старицами. Эти
реки с их водой, насыщенной растворенными органическими
веществами и растительными остатками, с тихим движением
их вод, с озерами, через которые они медленно протекают,
с их устьями и дельтами, дают нам представление о первичном
зарождении каменноугольного бассейна. «Васьюганское море»
Оби простирается на несколько тысяч квадратных километров.
525 «Coal Measures» для Англии представляют метаморфизованные
526 остатки дельт больших рек.

Совершенно иное образование богхедов, битуминозных сланцев, нефтей. Оно начинается в озерах и спокойных водоемах, неглубоких, пресных или солоноватых, богатых живым веществом. Это живое вещество очень отлично от того, которое господствует в водовместилищах, в которых происходит зарождение торфов или каменных углей. Это организмы планктона, одноклеточные водоросли, мелкие животные, споры. Они собираются благодаря взрывам размножения, подобным цветениям наших озер и прудов, когда под влиянием волн жизни и чрезвычайной геохимической энергии этих организмов, поверхность водовместилищ в течение короткого времени покрывается мириадами организмов, десятками, сотнями тысяч тонн одноклеточных водорослей, обыкновенно одного вида. Известны десятки видов организмов, дающих в наше время при различных условиях эти цветения водных поверхностей (стр. 188).

Богатый растительный планктон этих стоячих вод вызывает невероятный расцвет животной водной жизни. Волны жизни исчезают так же быстро, как и появляются. Организмы умирают, не будучи употребленными в пищу другими; их остатки соби-

раются на дне—их вещество выходит в значительной части из цикла жизни. Это сапропелы, богатые маслянистыми и азотистыми телами, неразрывно связанными с нефтями. И в настоящее время сапропелы собираются в тысячах озер северного полушария, тесно связанных в своем генезисе с историей последнего ледникового покрова, в тысячах озер Западной Сибири, всюду, где условия жизни благоприятствуют расцвету этих организмов.

В черных реках тропиков, с почти стоячими водами, часто бывают условия, очень благоприятствующие явлению медленного разложения умерших организмов, ибо эти воды, богатые растворимыми органическими материями, бедны микробами (подобно торфу). Органическое вещество их лишь медленно превращается в газообразные продукты. Иногда остатки животных не играют 527 большой роли; эти воды содержат споры, принесенные ветром; грибы, являющиеся концентраторами азота.

Эти два процесса разложения живого вещества не всегда отделены друг от друга. Наоборот, они почти всегда идут одновременно. Если преобладают лигнинные вещества,— мы имеем условия, благоприятные для образования каменного угля, если же преобладают сапропеловые, то условия благоприятны для образования битумов и нефтей. Их скопления образуются 528 в тех случаях, когда процессы идут в большом масштабе. Но значение имеют и их выделения, сами по себе ничтожные, которые всюду непрерывно происходят вокруг нас, так как в земной коре существуют различные механизмы, позволяющие ничтожным рассеянным массам этих продуктов собираться и давать более значительные находения.

Этот процесс совершался во все геологические эпохи, всегда на континентах, островах и их берегах.

Это процесс медленного, вначале биохимического, метаморфизма, дающий в конце концов чистый углерод и угольную кислоту. Но раньше, чем перейти к этому конечному состоянию, каменные угли и битумы имеют очень длинную историю, существуют миллионы лет, находясь всегда в состоянии медленных превращений.

Геологи, изучавшие большие находения нефти, мало-по-малу пришли к аналогичным взглядам. Два больших научных учреждения — Геологическая Съемка С.-Американских Соед. Штатов в Вашингтоне и Русский Геологический Комитет в Ленинграде —

после работы, длившейся десятки лет, и углубленного, независимого изучения самых больших находений нефти, пришли к почти одинаковым заключениям относительно их генезиса. Нефти, несомненно, являются осадочными, фреатическими водными (главным образом, пресноводными) минералами; они находятся в определенных горизонтах песчаников, песков, реже известняков или глин. Их большие скопления — миллионы тонн — известны, начиная с силура до плиоцена. Во всех их месторождениях находят либо породы, богатые остатками организмов, сапропеловые породы, либо указания относительно их прошлого существования.

Таким образом, если самый механизм процесса недостаточно известен и если образование нефтяных находений со многих точек зрения еще спорно, главный факт все же установлен: нефти происходят из живого вещества определенного химического состава. Это фреатические тела, генезис которых имеет
529 начало в биосфере. Это не ювенильные минералы.

6. Первичный геохимический цикл углерода.

Самый стойкий минерал углерода в земной коре, несомненно, самородный углерод.

Однако, возможно, что в еще более глубоких оболочках — в базальтовой оболочке — этот самородный углерод становится отчасти неустойчивым и дает металлические карбиды и, может-быть, СО (стр. 154).

Образование самородного ювенильного углерода показывает, что для этого элемента способность химической деятельности понижается в термодинамических оболочках с увеличением давления и с повышением температуры. Способность эта становится более интенсивной по мере приближения к земной поверхности. Количество его соединений увеличивается в верхних оболочках и достигает максимума в биосфере, где под влиянием живого вещества (т.-е. энергии солнечного луча) образуются миллионы его соединений. Их превращение в самородный углерод, в графит — медленное, многовековое — является самым характерным фактом первичного геохимического цикла углерода.

Биосфера представляет оболочку жизни, — область существования живого вещества. Весь ее углерод им захвачен. Все углеродистые соединения, находящиеся и образующиеся в ней,

с ним связаны. Все фреатические углеродистые минералы, попадающие в нее в результате геологических процессов, происходят в своей основе из живого вещества, представляют метаморфизованные продукты вадозных минералов, когда-то связанных с жизнью.

Угольная кислота единственный ювенильный и фреатический минерал углерода, проникающий в большом количестве в биосферу.

Чисто ювенильное происхождение угольной кислоты может быть установлено лишь для части ее массы. Преобладающая ее часть даже в глубинах происходит из карбонатов. Карбонаты же всегда или почти всегда вадозные или фреатические минералы. Они лишь изредка при особых условиях выделяются из изверженных пород (стр. 153).

Важно отметить, что на земной поверхности существует большое количество химических процессов, связанных с синтезом угольной кислоты. Эти процессы находятся в очевидной связи с живым веществом, так как они все образуются под влиянием свободного кислорода.

Свободный кислород окисляет углеродистую даже графитовую пыль; большое количество угольной кислоты образуется в среде самого живого вещества, под влиянием процессов дыхания. 530

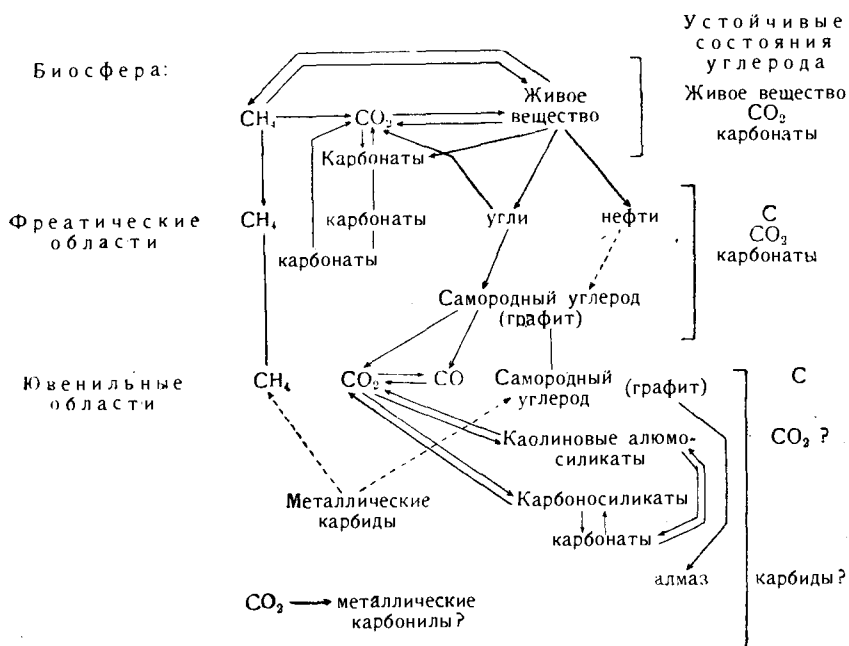
Углеводороды (главным образом, метан), которые, несомненно, приходят из глубоких слоев земной коры, только отчасти ювенильного происхождения. Большая часть их массы образуется в вадозных областях; таковы газы болот (биохимический генезис) или в верхних метаморфических областях, таковы гремучий газ каменноугольных залежей и струи углеводородов, связанные с орогенетическими движениями. Эти последние выделения, дающие большие количества газов, находятся очень часто, хотя и не всегда, в связи с нефтями. 531

Первичный цикл углерода может быть представлен схемой таблицы XV (см. стр. 178).

7. Земные газы и живое вещество.

Самый важный факт в истории углерода — это образование живым веществом газообразных продуктов, главным образом, углекислоты. Метан и окись углерода, им образуемые, очень

ТАБЛИЦА XII.



редки в биосфере, так как они доходят до нее лишь в виде следов и немедленно превращаются в CO_2 .

Тесная генетическая связь между земными газами и живым веществом не ограничивается созданием угольной кислоты. Почти все вещество организмов создается из газов.

Тесная связь земных газов с живым веществом ярко выражена в факте, что все земные газы (исключая вулканических эманацій) так или иначе захватываются организмами для жизни.

И вместе с тем те же газы:

O , CO_2 , H_2O , NH_3 , H_2S , SO_2 , H_2 , CH_4 , CO , CHON , CSO , NO_2 ,
 SO_2

выделяются назад в атмосферу после смерти организмов, при их разрушении или в процессах жизни.

Самое важное явление в химической истории живого вещества — это его газообразный генезис и превращение его в газы после смерти. Несомненно, что больше 97—98% по весу атомов живого вещества извлекается из газов биосферы и меньшее

количество, но того же порядка, выделяется в виде газов после смерти организмов.

Несколько числовых данных позволят лучше оценить это явление.

Этим путем огромная масса материи приводится в течение года в движение; эта масса гораздо больше и значительнее, чем мы обыкновенно себе представляем. Вся масса земной коры до 16 километров весит приблизительно 2×10^{17} метрических тонн; масса живого вещества не больше 0,1% и отвечает порядку 10^{14} — 10^{15} метрических тонн. Гораздо больше девяти десятых этой массы происходит из газов земли.

Организмы совершают огромную работу, вызывая этот миллиарды лет длящийся круговорот газов. Работа эта тем больше, что организмы для поддержания своего тела должны в течение года передвигать массы газов, которые наверно превышают и, быть-может, в несколько раз вес атмосферы, т.-е. 6×10^{17} метрических тонн.

В замечательном синтезе химической статики живого вещества, данном И. Б. Дюма и И. Буссенго 80 лет назад, они правильно охарактеризовали мир организмов, как придаток к атмосфере. Они имели право это сказать в виду того, что между живым веществом и земной атмосферой происходят непрерывные обмены и что массы их одного и того же порядка.

«Подводя итоги изложенному нами, — говорит Дюма, заканчивая свои лекции, — мы видим, что первичная атмосфера земли подразделилась на три большие части: одна из них образует современный атмосферный воздух; вторая представлена растениями, третья животными.»... «Таким образом, все, что воздух дает растениям, растения уступают животным, животные же возвращают воздуху; вечный круг, в котором жизнь трепещет и выявляется, но где материя только меняет свое место. Косная материя воздуха, постепенно организуемая в растениях, без изменения начинает наконец функционировать в животных, является орудием мысли; затем побежденная этим усилием и как бы разбитая, она возвращается в виде косной материи в великоеместилище, из которого изошла...»

Если мы в XX веке должны видоизменить некоторые мысли, здесь изложенные, — основное положение остается неизменным. Живое вещество неразрывно связано с атмосферой; оно превращает атмосферные газы в коллоидальные тела, жидкие и

твердые. Живое вещество не только придаток атмосферы, но более великое планетное явление, ибо планетная атмосфера, взятая в массе, а не в объеме, вероятно, меньше живого вещества, из нее по большей части происходящего.

533 Более углубленное изучение явления показывает, сверх того, что влияние живого вещества на миграцию атомов в земной коре, его геохимическая энергия может проявляться только в теснейшей связи с атмосферой.

8. Живое вещество и геохимическая история углерода.

Значение живого вещества в биосфере, несомненно, далеко заходит за пределы геохимической истории углерода.

Если углерод необходим для создания живого вещества, живое вещество, несомненно, не углеродистое тело. Его функции в земной коре гораздо более сложны, и его свойства не являются только свойствами углеродистых соединений.

Очень распространенная несколько лет назад идея о возможности существования живых углеродистых сложных соединений, живых белков, бесспорно опровергнута совокупностью эмпирических фактов геохимии. Ибо ни белки, ни другие углеродистые соединения, ни протоплазма — их закономерная смесь — не могут давать представления о живом веществе. Живое вещество, это — совокупность живых организмов. Его действие является результатом всего его вещества целиком. Сказать, что действие его сосредоточивается в белках, а не в карбонатах или в свободном кислороде, им производимых, нельзя, — это одинаково противоречит действительности.

По существу, живое вещество охватывает своим влиянием всю химию земной коры и направляет в ней геохимическую историю почти всех химических элементов. Очевидно, что в геохимической истории углерода перед нами откроются лишь некоторые проблемы, не дающие полного представления об огромном значении живой природы в истории нашей планеты.

Из них я остановлюсь здесь лишь на четырех, о которых дам лишь краткие представления: 1) на распространении живого вещества на земной поверхности, 2) на его массе и химическом составе, 3) на его соотношении с угольной кислотой и 4) на роли живого вещества в истории химических элементов.

9. Распространение живого вещества в биосфере и геохимическое значение размножения организмов.

Распространение живого вещества на земной поверхности, одно из самых удивительных и исключительных его свойств, является как бы отблеском его газообразного происхождения. Ибо мы не видим ничего подобного этому явлению в косной материи, исключая газообразного ее состояния. Эта аналогия логически **правильна**, она связана, повидимому, с тем, что в обоих случаях **мы** изучаем статистические явления; законы газов и размножение организмов имеют много общего.

Мы представляем себе распространение газообразных масс, их упругость, как результат самопроизвольных движений их молекул, могущих быть остановленными внешней силой, превосходящей силу движения множества этих телец. Если бы этой внешней силы не существовало, через некоторое время газы наполнили бы все данное пространство.

То же самое явление наблюдается в живой природе, в совокупностях организмов. Если бы не существовало непреодолимых препятствий, живое вещество наполнило бы через известное время самопроизвольным движением своих «молекул» — неделимых — все данное пространство. А при существовании препятствий живое вещество производит давление, аналогичное давлению газов.

Есть характерная особенность в этом давлении, связанная с особым состоянием неделимых, строящих живое вещество, лишь отчасти аналогичных молекулам газов. Давление живого вещества выражается не только в их движении, но и в свойстве их поколений, отсутствующем в косной материи, — в приспособляемости организмов.

В течение веков живое вещество приспособляется, — делает усилия и часто преодолевает препятствия своему распространению, само соответственно изменяясь.

Существует другое очень определенное и столь же важное различие между массами газов и массами живых веществ. Количество газообразных молекул для данной массы газа неизменно. Количество организмов для живого вещества изменчиво, и давление живого вещества может оставаться неизменным в данном пространстве, несмотря на увеличение внешнего давления (препятствий). Это давление — функция воспроизведения —

размножения — свойства живого вещества, которое для нас, как
534 это хорошо выразил Д. Гальдан, «не проблема, но аксиома». Масса живого вещества в данном объеме может расти до известного предела, и соответственно может расти его давление. Мы имеем здесь некоторую аналогию созданию — рождению — газообразных тел при радиоактивном распаде.

К сожалению, эта область науки, значение которой, очевидное с давних пор, не возбуждает никаких сомнений, находится в своем научном изучении в начальной стадии развития.

Несмотря на это целые поколения ученых оставили здесь следы своих мыслей. Изучая развитие идей, мы находим выражения глубоких и разнообразных представлений, относящихся к повсюдности жизни, к захвату ею всей поверхности планеты. Обычно эти мысли еще не облечены в конкретную научную форму, но находятся в состоянии смутных интимных чувств. Они, несомненно, составляют основу понимания природы — «чувства» природы уже для нескольких поколений натуралистов.

Человек лишь постепенно понял мировое распространение жизни на земной поверхности. Только в конце XVIII века, когда великие исследования лика земли, возобновленные с такой энергией в эпоху Возрождения, привели к нашему современному представлению о мире, смогли понять, что жизнь находится всюду. Повсюдность жизни есть эмпирический факт — аксиома, не подлежащая доказательству. Объяснения ей мы дать не можем, так как всякое объяснение неизбежно приводит к утверждению, что оно является неизбежным проявлением основных свойств живого организма, его размножения. Повсюдность можно
535 свести к энергетике организма, но это не меняет сути дела.

В действительности, сознание такого свойства живых организмов представляет реальную, хотя и не высказываемую основу наших биологических концепций.

В конце XVII века смогли впервые наблюдать до тех пор невидимую жизнь, — жизнь микроскопических существ. Это открытие Левенхука произвело в науке глубочайшее впечатление. Оно дало новый импульс идее о повсюдности жизни.
536

Но лишь XIX в. позволил нам глубже постигнуть ее всеобщность. Открытие жизни в морских глубинах дало понятие об ее количествах. Изучение микробов удивительным образом неожиданно углубило старые представления микроскопистов и еще более старые интуиции эмпириков — врачей и геологов.

Я думаю, что не смогу дать лучше почувствовать идею о распространении и о всеобщности жизни, как приведя слова трех великих натуралистов XIX в., высказанные еще задолго до открытия мира микробов и жизни в глубинах океана.

Они выразили, независимо друг от друга и почти одновременно, с большой глубиной мысль о повсюдности жизни, эту столь плодотворную идею о живой природе, как об основной реальности космоса. Эти три великих натуралиста излагали свои мысли вне стен лабораторий и институтов, среди тишины природы, вдали от людей.

Первый из них, немецкий ученый, долго работавший в Париже, где он провел лучшие годы своей жизни, — Александр Гумбольдт. Он писал в новом издании своих «Картин Природы», после открытия Эренбергом повсюдности микроскопической — не микробной еще — жизни: «Когда человек вопрошает природу со свойственным ему острым любопытством или в своем воображении измеряет широкие пространства органического творения, самое могучее и глубокое из всех испытываемых им волнений, это чувство, пробуждаемое в нем полнотой жизни, повсеместно развитой...» «Всюду куда наблюдатель ни бросит свой взгляд, он видит жизнь или зародыш, готовый ее воспринять».

537

538

Другой ученый, наш академик, великий натуралист и мыслитель К. М. фон Бер, человек лаборатории и микроскопа, в 1838 г. впервые увидевший девственную полярную природу Новой Земли, писал:

«На какой бы точке поверхности планеты мы ни обитали и куда бы ни бросили взоров, мы видим распространение органической жизни всюду, куда человек может проникнуть. И если до сих пор не удавалось достигнуть полюсов, наблюдения, сделанные в высоких широтах, до каких только возможно было дойти, позволяют нам с уверенностью утверждать, что и на полюсах мы не найдем пределов жизни, отдаляющих ее от царства вечной смерти».

539

И почти в то же время — в 1833 г. — третий ученый Ч. Дарвин отметил в своем дневнике в Южной Америке на берегу соленого озера близ Эль Кармена: «Да, несомненно, можно утверждать, что все страны света доступны для жизни. Озера с пресной водой, подземные озера, скрытые в недрах вулканических гор, источники горячих минеральных вод, глубины Океана, верхние

области атмосферы, поверхность самих вечных снегов, — всюду мы находим организованные существа».

Мы выражаем эту повсюдность или распространенность жизни именем, данным Э. Зюссом верхней земной оболочке: биосфера, сфера жизни.

Распространенность жизни является следствием двух очень различных причин: движения отдельных неделимых элементов живого вещества — это автономное движение, врожденное свойство организма, — и глубочайшей тайны жизни: размножения организмов, увеличения и обновления массы живого вещества.

Не углубляясь в этот вопрос (что я делаю в другом месте), я хочу здесь отметить некоторые геохимические последствия размножения и движения, совершаемого этим путем организмами в биосфере.

Вся земная поверхность благодаря размножению организмов покрыта слоем живого вещества. В этом живом веществе преобладают газы — кислород и угольная кислота — вода, белки, углеводы, жиры; во многих случаях в нем находятся большие количества опала, карбонатов, фосфорно-кислого кальция. Часто, но не всегда преобладают органические соединения; количество воды колеблется между 60 и 99,8%.

Это живое вещество образует обыкновенно тонкий слой; однако, оно наполняет все водовместилища и встречается во всей толще океана. Океаны являются всегда самыми богатыми скоплениями живого вещества; последнее распределено в нем очень неравномерно, но, однако, находится всюду. Практически можно считать слой живого вещества непрерывной оболочкой.

Очень характерно, что это вещество распылено до степени, превосходящей все земные механические и химические распыления. Я уже указывал на значение этого явления для рассеяния углерода и для химической активности мельчайших пылинок вещества, остающихся после смерти микроскопических организмов (стр. 149).

Но это крайнее распыление является лишь следствием стремления живого вещества к повсюдности, ибо размножение живого вещества, увеличение его массы — пропорционально его поверхности. Это увеличение массы является отчасти результатом газового обмена, отчасти обмена жидкостей, реже твердых веществ. Этот обмен всегда совершается через поверхность тела организма. Увеличение поверхности

организма всегда соответствует усилению обмена его вещества, увеличению скорости «более или менее быстрых вихрей» жизни, (стр. 42). Все строение живого вещества определяется силой его размножения; им же объясняются мельчайшие размеры микробов и ультрамикробов, сложное клеточное строение организмов. 542

Поверхность маленьких тел какой-либо массы материи всегда гораздо больше поверхности той же массы, образующей большое тело тождественной формы. Распадение живого вещества на все более мелкие организмы может быть рассматриваемо, как механизм, который, увеличивая площадь живого вещества, усиливает его обмен и благоприятствует его распространению по всей земной поверхности.

Наиболее мелкие организмы распространяются с удивительной скоростью. Воспроизведение организмов неизбежно связано с образованием определенных сложных соединений, строящих тело организма. Соединения создаются с быстротой, неведомой нашим лабораториям и заводам.

Быстрое размножение организмов, особенно микроскопических, возбудило внимание ученых XVIII века и даже XVII века. Уже К. Линней интересовался этими вопросами. Он указал, что одна особь *Musca carnaria* — мясной мухи — со своим потомством могла бы в немного дней уничтожить до костей трупы большой лошади и льва. Эти исчисления и связанные с ними идеи Линнея не получили должного внимания вплоть до нашего времени. 543

544

Размножение живых существ, интересующее биологов с физиологической точки зрения, — явление геохимическое, так как оно имеет огромное влияние на количество живого вещества, существующего в биосфере, и управляет всем жизненным циклом химических элементов. Оно имеет в земной коре еще большее значение, так как живое вещество представляет очаг активной энергии. Оно в конце концов приводит в ней в движение не менее значительные массы материи, чем грандиозные процессы окружающей нас природы, осадки водных бассейнов, отложения рек или ветра, ледниковых покровов.

Рост геохимии задержан отсутствием биологических фактов, научно установленных, относящихся к этому явлению.

Обычно, в биологии, эти факты собираются лишь случайно, как простые примеры скорости или интенсивности воспроизведения; во многих случаях ими пользуются лишь для иллюстрации

мысли о значении размножения организмов, о нем, как о великом природном явлении, обычно нашим умом не сознаваемым.

В геохимии нельзя ограничиваться таким подходом к этому явлению.

Оно имеет слишком большое значение в миграции атомов в земной коре, роль его слишком велика в геохимических процессах.

Не имея возможности останавливаться здесь на этом явлении, я приведу лишь несколько конкретных примеров, уясняющих ту силу, какую размножение организмов представляет в земных пределах.

545 В начале XIX в. К. ЭРЕНБЕРГ дал картину поразительной силы воспроизведения диатомей, кремнеземных организмов, нередко нацело составляющих морской планктон, огромное значение которых в истории кремния было уже указано (стр. 134). Он доказал, что одна диатомея, разделяясь на части, может, если не встретит к тому препятствий, в восемь дней дать массу материи, равную объему земли, а в течение следующего часа может удвоить эту массу.

546 Мелкая обычная инфузория (туфелька — *Paramecium*) может в течение пяти лет дать массу протоплазмы, объем которой равняется 10^4 объема нашей земли.

Мир микробов, неведомых К. ЭРЕНБЕРГУ, являет еще более разительные примеры. Одна бактерия в благоприятной ее росту питательной среде может в один день дать количества неделимых, превышающее 10^{25} , т.-е. септиллионы особей; остается микроскопический след от ее первичной материи, вокруг нее образуются или концентрируются в течение этих часов массы того же химического вещества, составленные из сложнейших органических соединений.

547 Согласно Ф. Кону, бактерия может в течение четырех с половиной суток дать потомство в 10^{36} индивидуумов, его объем будет равен объему океана, его вес, очевидно, превысит вес последнего, так как удельный вес бактерии, живущей в солевой воде, вероятно, немного больше удельного веса морской воды. Это значит, что в трое суток живая пылинка сложнейшего химического состава, весом в несколько триллионных или сотнебиллионных грамма, 10^{-11} — 10^{-12} гр. дает массу все растущего вещества того же сложнейшего состава, весом больше $1,4 \times 10^{17}$ тонн, т.-е. в несколько тысяч раз превосходя-

щим вес всех организмов, находящихся в каждый данный момент в биосфере.

Это крайний предел быстроты творения вещества геохимической энергией живых организмов, невероятного вихря миграций элементов, которые они могут вызвать. Амплитуда возможных колебаний очень велика, если бактерия холеры *Vibrio cholerae* может покрыть сплошным покровом поверхность планеты в одни с четвертью суток, то наиболее медленно размножающийся организм — индийский слон делает это в 3000—3500 лет; скорость передачи геохимической энергии для этой бактерии равна приблизительно 33 000 сантим. в секунду, — близка к предельной скорости звуковых волн; она для слона будет около 10^{-2} см/с. 548 В безмерности геологического времени существования жизни эффект обеих форм органической жизни может быть, однако, по существу одним и тем же. Самый медленно размножающийся организм в биосфере будет являться огромной меняющей окружающую среду силой.

Эти числа дают понятие о потенциальной возможности изменения геохимических процессов, заложенной в организмах. Она проявляется в окружающей природе реально в меньшей степени, не достигая предела; но, однако, порядок явления от этого резко не меняется.

Но временами мы видим ее проявление в полном размахе. Можно сказать, мы наблюдаем эти явления ежедневно, кругом нас, не сознавая их величия. Это волны жизни, согласно прекрасному старинному образу, недавно вновь внесенному в науку В. Гедсоном. Это внезапные взрывы жизни. 549 Иногда в течение нескольких дней, нескольких часов, мы видим, как образуются мириады живых существ, водорослей, насекомых, пауков, мелких позвоночных и других животных. Через очень короткое время, при условиях, благоприятных для жизни, живое вещество prepares на наших глазах огромные количества белков, жиров, углеводов. Так, в планктоне Адриатики наблюдается иногда явление, которое итальянцы называют «mare srogso», огромное внезапное размножение диатомей. Они дают скопления, бедные кремнеземом. Они воспроизводятся с такой быстротой, что равновесие кремния в морской воде не имеет времени восстановиться. Образуются скопления в несколько метров глубины от поверхности моря; через немного дней такого размножения, они оседают на дно в виде огромных

студнеобразных масс, быстро поедаемых и разлагающихся. Нарушенное равновесие природы быстро вновь восстанавливается.

Те же явления наблюдаются на каждом шагу на суше. Таково и «цветение воды» озер, рек, болот, прудов. Растения, подобные *Letna* водоросли и одноклеточные животные и другие организмы внезапно покрывают поверхность воды более или менее непрерывным покровом; они возобновляются периодически, быстро создавая огромные количества органических соединений, но равновесие вновь быстро восстанавливается, и они разрушаются. И в том случае, когда разрушение не идет до конца, они могут давать начало залежам угля и нефти (стр. 174).

Само явление вполне отвечает тем огромным потенциальным силам, числовые выражения которых я давал раньше.

Роль в экономии природы этих явлений огромна. Эти взрывы жизни всегда краткосрочны. Вскоре равновесие восстанавливается, живая природа принимает обычный облик. Нет мгновения, когда бы это явление ни проявлялось во многих местах нашей планеты. Это поистине волны жизни, всегда существующие и ярко выявляющие механический характер явления. Его существование, очевидно, связано с самим строением живого вещества.

И все же оно почти не привлекает внимания ученых нашего века. К нему не раз обращалась научная мысль, когда в науке царили идеи о гармонии и об экономии природы. Мне кажется, что наш знаменитый академик К. М. фон БЕР в последний раз, 60 лет назад, подходил к этому явлению во всей его широте, как к великому отзвуку планеты. Мы сейчас, очевидно, должны вернуться к этим старым идеям.

10. Количество углерода в живом веществе.

Геохимический эффект размножения может быть количественно выявлен образованием живого вещества, его массой на определенной площади биосферы.

Это количество определяется зелеными растениями, которые одни обладают способностью захватывать лучистую энергию солнца.

Количество растительной массы на определенном пространстве ограничено. Можно составить себе представление о порядке его величины, изучая урожаи наших культур. Так, напри-

мер, максимальный урожай хлебов в Англии может давать больше 30 тонн сухой органической материи на гектар и на жатву. Но это исключительный пример. В общем «при лучших условиях и лучших культурах», согласно Дюкло, урожай не превышает 15 метр. тонн. 553 554

В тропических странах это количество, несомненно, гораздо значительнее. Для плантаций бананов уже давно достигнут урожай до 50 тонн сухой органической материи на гектар, не считая еще большей массы ветвей и листьев этих *Musaceae*. 555

Но, повидимому, мы и здесь еще далеки от достижения предельного плодородия. Маниок (*Manihot utilisissima* Pohe из *Euphorbiaceae* дает большие количества продуктов, до 250 тонн свежих клубеньков на гектар, не считая воздушных частей растения. Количество мхов и лишайев сырых тундр арктических и подарктических стран, так же как северные сырые луга, дают, повидимому, не меньшие количества, вероятно, большие, чем урожаи наших стран. 556 557

Эти числа соответствуют массам углерода, равняющимся от 6—7 до 50—60 метр. тонн на гектар.

Как бы эти числа ни казались нам высоки, они для полного учета, несомненно, дают лишь минимальные пределы.

Они никогда не отвечают всему собираемому живым веществом углероду на гектар; они являют лишь полезную человеку часть.

Человек никогда не интересуется всем живым веществом почвы. Так, для злаков не принимают во внимание их корней; следовало бы в последнем случае увеличить на треть или удвоить общую органическую массу. Никогда не принимают во внимание мира микробов и животных почв и подпочв. Это количество, наверно, не меньше органической материи, которой человек пользуется для своих нужд; оно, наверно, того же порядка, может-быть, гораздо большего. 558

Сборы с полей нашего климата не соответствуют органическим массам, образующимся в тропических и субтропических странах, в наших торфяных болотах, в болотистых лесах тропиков, в сырых прериях субарктических стран. К тому же значительная часть углерода концентрируется всюду в животном царстве, особенно в царстве членистоногих.

Уже давно стало очевидным, что живое вещество, содержащее по крайней мере 60% легко выделяемой воды, концентрируется в областях земли пропорционально ее количеству.

Максимальный расцвет жизни проявляется в водах гидросферы. Существуют два источника образования первичной массы морского живого вещества — планктон, по большей части микроскопический, поверхностей океанов, и растительность водорослей, зостер и других водяных растений в бентосе и в некоторых частях океанической поверхности — в прибрежных и саргассовых сгущениях. Животная материя, богатая азотом, преобладает в океанах. Но весь ее углерод, в конце концов, 559 получается из зеленого живого вещества, почти исключительно из растений. В силу интенсивного своего метаболизма, быстроты размножения и взаимного поедания морские животные до конца используют один и тот же ограниченный запас углерода, извлекаемый растениями из воздуха.

В гидросфере жизнь существует в слоях вещества, средняя мощность которого равна 3—5 километрам, между тем как на суше этот слой не превышает нескольких метров. Очевидно, что большая часть массы животного или растительного углерода сконцентрирована в море.

Несомненно, что он там не распределен однообразно. Явление, наблюдаемое и на суше — концентрация живых организмов в определенных ее слоях — в почве и около нее, еще ярче проявляется и в океане и в водных вместилищах жизни.

Здесь можно различить концентрации жизни, в которых интенсивно идут геохимические процессы, и области, бедные жизнью, где ее влияние замирает. Мы можем выделить пленки жизни: планктонную в 50—60 метров мощностью на поверхности и донную, мощность которой иногда значительно больше. Мы должны отличать рассеянными в океанах особые сгущения жизни — саргассовые на поверхности глубоких вод и прибрежные на границе суши и моря — у берегов, над мелями и т. п.

Такое распределение жизни представляет неизменную картину гидросферы (и водных вместилищ суши), существовавшую во все геологические периоды.

Это — неизменные формы механизма земной коры, распределения на ней геохимической энергии и вызванной ею своеобразной миграции элементов. 560

Количественное определение планктона, начатое Генсеном более сорока лет назад, обнаруживает в нем все большие и большие количества организованных существ, по мере 561

улучшения методов исследования. Новые определения Аллена ⁵⁶² указывают для планктона Атлантического океана гораздо более 464 000 мельчайших организмов на литр, не считая бактерий.

Определение одного фитопланктона, не считая микропланктона и животного планктона, который превосходит его богатством жизни, ежегодно дает для северного Атлантического океана наших широт от 10 до 15 тонн сухой органической ⁵⁶³ материи на гектар. Согласно Петерсену, органическая мате- ⁵⁶⁴ рия в виде этих организмов пловучих растений (например, *Zostera*) и их обломков соответствует $4,1 \times 10^{-3}$ до 1×10^{-2} ‰ массы морской воды в этих наиболее богатых жизнью ее слоях.

Чтобы сравнить ее с производительностью почвы, можно выразить общее количество живого вещества гидросферы, исчислив его на гектар. Оказывается, что количество видимой жизни в гидросфере немного больше количества ее в богатых жизнью участках суши.

Наибольшие урожаи суши и наибольшие урожаи водных вместилищ и моря дают на гектар близкие количества сухого органического вещества, хотя мы в этих случаях имеем резко разные слои планеты. Толща вещества, отвечающего гектару моря, достигает в среднем нескольких километров.

Мощность слоя жизни на суше в пределе — в лесах — может достигнуть сотни метров. Обычно она исчисляется немногими десятками метров, метрами или не достигает метра.

То, что урожаи зеленых растений суши и зеленых растений и животных моря дают близкие цифры, если их отнести на гектар, вероятно, связано с тем, что живое вещество в конце концов является созданием лучистой энергии солнца, т.-е. зависит от поверхности, им освещаемой, одинаковой и для суши и для моря. ⁵⁶⁵

Вопрос этот имеет огромный теоретический интерес и теснейшим образом связан со всем геохимическим режимом планеты. Современное состояние науки позволяет нам лишь вскользь затронуть его.

Остановимся на некоторых его проявлениях.

Для животных морского дна, бентоса морей Дании, Бойсен-Йенсен определил ежегодный урожай живого веще- ⁵⁶⁶ ства (на квадратный метр). Урожай колеблется в разные года,

от 42,1 до 77,1 граммов углерода. Это соответствует приблизительно от 206,3 до 377,8 килогр. углерода на гектар. К тому же Бойсен-Йенсен принимал в расчет лишь бентос и оставлял без внимания планктон, микробы, движущихся животных. Бентос, который он изучал, жил за счет *Zostera* и ее остатков. *Zostera* давала 12 тонн сухой органической материи в год на гектар. Животный мир питается ее остатками и его живым веществом, не успевающим достигнуть зрелого возраста. Создается равновесие — животные, в значительной мере плавающие рыбы, поедают растущие *Zostera*, которые своим ростом быстро покрывают потерю от поедания.

К сожалению, мы не можем дать точных чисел всего количества живого вещества биосферы и углерода, в нем заключающегося. Мы можем лишь приблизительно указать порядок отвечающих ему величин. Но такое несовершенное приближение предпочтительнее полного неведения.

Очевидно, что количество углерода, связанное с жизнью, ограничено, и что количество это в общем, по сравнению со всей массой углерода находящейся в коре — невелико. Как мы видели, масса эта не превышает 1×10^{16} метрических тонн (самое большее, считая 0,5% углерода в земной коре), вероятно, меньше, около 8×10^{16} метр. тонн.

Вся масса живого вещества не может достигать 0,1% земной коры, т. е. 2×10^{16} метр. тонн; она, наверно, меньше, ибо, предполагая 100 метр. тонн сухого органического вещества, отвечающего живым организмам на гектар, мы получим $5,1 \times 10^{12}$ его тонн на всю биосферу. Едва ли все живое вещество, принимая во внимание всех животных, микробов почв и грязей, изменит порядок этой цифры. Она отвечает величине $n \times 10^{13}$ тонн живого вещества. Числа порядка 10^{14} будут отвечать предельным допустимым его величинам. Для углерода живого вещества его количество не может значительно превысить 7%, вероятно же, значительно меньше, имея в виду водные организмы. Отсюда следует, что количество углерода, захваченного живым веществом, не может превышать $n \times 10^{13}$ метр. тонн, но, вероятно, меньше этой цифры. Оно, следовательно, соответствует нескольким тысячным долям общей массы земного углерода.

Но в действительности его значение несравненно больше. Живое вещество представляет динамическое равновесие атомов,

их масса находится в энергичном движении — в миграции; часть атомов углерода выделяется из организма и немедленно заменяется другими его атомами.

Тысячные доли не дают представления о значении углерода живого вещества. Значение его атомов в природе гораздо большее.

В течение короткого времени, например, одного года, живое вещество приводит в движение массы углерода, вероятно, того же порядка, как вся масса земного углерода.

Факт, отмеченный нами в истории кремния и кислорода, повторяется и здесь.

Это, конечно, не значит, чтобы действительно все атомы углерода реально проходили через живое вещество. Часть атомов непрерывно находится в живом веществе, немедленно возвращаясь в него, если почему бы то ни было она его оставляет. Лишь небольшая их часть на долго — иногда на миллионы лет (в нефтях, углях, известняках и т. д.) уходит из живого вещества.

Другие исчисления количества живого вещества, постоянно находящегося на нашей планете, дают меньшие цифры.

570

Однако, разница не велика. Более вероятные из наименьших определений дают для земного живого вещества суши $n \times 10^{11}$, быть-может, $n \times 10^{10}$ метр. тонн.

571

11. Количество жизни.

Точное определение массы углерода в живом веществе и массы живого вещества имеет большое значение и по другим соображениям, кроме его влияния на геохимические процессы.

Очевидно, всякое значительное изменение массы или состава этого живого вещества должно получить яркое отражение в истории химических элементов, в составе косной материи, среды жизни организмов.

Но происходит ли и может ли такое изменение происходить?

Изучая историю земли, мы наталкиваемся на факт огромной важности, последствия которого обыкновенно не замечаются: факт постоянства химического облика земной коры в течение всего геологического времени.

Совершенно несомненно, что минералы, образующиеся в течение геологического времени, всегда одинаковы. Всюду и всегда, не только со времени кембрийской эры, но и со времени архейских

эр, образуются те же, минералы; нет никакого изменения. Не только нет изменения в самих минералах, но и их парагенезис остается тот же, и их взаимные количества во все времена кажутся тождественными.

Отсюда необходимо заключить, что геохимические явления не изменились заметным образом со времени архейских эр.

Из этого также следует, что средние количества и состав живого вещества остались приблизительно одинаковыми в течение всего этого непостижимого по длительности времени. Иначе, в виду значения организмов в геохимической истории всех химических элементов, ни минералы ни их соединения не могли бы оставаться все время тождественными.

Таким образом, количество живого вещества, повидимому, является планетной константой со времени архейской эпохи.

Несомненно, константа эта подвержена колебаниям. Она определяет совокупность круговых процессов, обратимых явлений, выражаемых нами, как состояние динамических равновесий. Эта константа того же порядка, как и константа среднего состава атмосферы или соленой части воды океанов.

Интересно отметить, что мы здесь возвращаемся к геохимии в новой форме, к идеям, почти забытым в биологии, однако, имеющим в ней очень интересную историю.

Эти биологические идеи должны будут возродиться. Ибо очевидно, что указанное постоянство массы живого вещества имеет значение не только с точки зрения геохимии, но в неменьшей степени и с точки зрения биологии.

572 Бюффон первый ясно поставил в биологии вопрос о количестве жизни, как тогда выражались, существующей на нашей планете. Он думал, что количество это неизменно, что живые вещества образуются из частиц — органических молекул, отличных от частиц косной материи. Эти органические молекулы бессмертны и неизменны. После смерти организма они вступают в другие организмы и таким образом находятся в движении от начала вечности. Эти грандиозные представления сходны с очень древними представлениями индуэской мысли. Едва ли можно предполагать их непосредственное заимствование Бюффоном, так как работа его началась раньше ознакомления с ними европейского Запада. Генезис этих представлений Бюффона довольно сложен и не достаточно выяснен. Это,

несомненно, очень древние идеи, возродившиеся в новой форме. Их можно проследить до XVII в., но мы находим их следы в философской и научной атмосфере Возрождения. Их корни теряются в гораздо более древних философских и религиозных представлениях Азии. 573

Из построений Бюффона логически следует, что количество материи в организмах, соответствующее массе вечных органических молекул, постоянно.

Эти идеи Бюффона никогда не были забыты, они, однако, являли собой течение научной мысли, остававшееся в стороне от основного ее движения.

Мы наблюдаем их возрождение в новых формах у натуралистов и философов XIX века, у Окена, Снядецкого, Флуранса, К. М. фон-Бера, Л. Агассица, Э. фон-Гартмана, А. Брандта и других. Последний из них немецкий физиолог В. Прейер старался в конце века углубить эту идею и ввести ее в науку. Ему это не удалось. Вообще предполагали, что количество живого вещества — жизни — остается неизменным. К. М. фон-Бер допускал возможность его увеличения с течением времени. 574 575 576

Эти полузабытые теории получают в нашу эпоху новый интерес. Количественное изучение явлений жизни приобрело сейчас значение, совершенно изменяющее недавно еще неподвергавшиеся сомнению идеи, созданные в эпоху господства работы чисто качественной — морфологической. Эти старинные идеи нашли в нашу эпоху благоприятную почву. Их время пришло.

Постоянство количества живого вещества для нас эмпирический факт — необходимое следствие из всех геохимических фактов.

12. Химическое строение живого вещества.

Эти явления имеют еще другое следствие. Не только количество, но и средний химический состав живого вещества должен быть неизменным не только в историческое, но и в геологическое время. С геохимической точки зрения это постоянство еще более несомненно, чем постоянство количества жизни, ибо каждое химическое изменение живого вещества должно было бы проявиться в образовании новых минералов или в увеличении и уменьшении их количества.

Между тем во всей геологической истории минералы всегда остаются теми же самыми. И если количество их меняется, то это изменение колеблется около среднего числа. Часто эти изменения связаны с живым веществом. Так, например, периоды усиленного образования каменного угля повторялись несколько раз в течение геологического времени. Тот же факт известен для минералов, совершенно независимых от жизни; так, например, появление нескольких ледяных периодов в течение геологического времени отвечало увеличению количества льда. Нам известны также несколько повторных проникновений в биосферу золота или окиси олова и т. д.

Эти периодические изменения в количестве минералов, очевидно, зависят от каких-то причин иного масштаба, чем явления жизни.

Мы в них усматриваем периодические колебания земных физико-географических явлений или движений магм, связанных с орогенетическими явлениями, с ходом радиоактивных процессов.

Такие периодические колебания и химического состава живого вещества и его количества весьма вероятны, так как общие причины, сейчас указанные, должны отражаться и на них.

Но эти колебания сейчас нами не отмечаются, прежде всего оттого, что не сознается постоянство среднего состава и среднего количества живого вещества, которое должно им предшествовать в нашем сознании.

Здесь должна быть прежде всего отмечена неизменность всех форм, всех самых разнообразных природных химических соединений, минералов, связанных своим генезисом с живым веществом,—явление, наблюдаемое во всей геологической истории земли.

Эта неизменность требует постоянства химического состава живого вещества и его очень особенного химического строения, остающегося в среднем без изменения в течение всего этого столь долгого времени.

В этой области выводы геохимической науки находятся в противоречии с данными биологических наук и палеонтологическими фактами.

Наиболее характерным фактом, господствующим над всеми нашими представлениями о земном мире, является непрестанное и правильное изменение его морфологического строения — эволюция видов. Идея эволюции органического мира представляет

одно из величайших достижений человеческой мысли прошлого века. Очевидно, что морфологическое изменение тесно связано с изменением химическим, ибо форма организма так же, как форма всякого физического предмета, служит проявлением внутреннего молекулярного строения. Эти два факта — морфологическая эволюция живого мира в течение геологического времени и неизменность его среднего химического состава при одинаковых условиях — суть твердо установленные эмпирические положения. Их кажущееся противоречие требует объяснения.

Можно дать такое, кажущееся мне вероятным. Приходится допустить, что химическое изменение, необходимо сопутствующее каждому морфологическому изменению, совершается в химически неизменных рамках разнородного живого вещества. Общий его состав оставался в течение геологического времени всегда одинаковым. Химические изменения компенсируются в меняющихся в своем составе однородных живых веществах, существующих одновременно.

Если этот вывод соответствует естественному порядку, приходится допустить, что в строении живого вещества, взятого в целом, существуют характерные черты, не изменяющиеся при эволюции видов.

Я не могу здесь углубляться в анализ этих очень важных и имеющих большой научный интерес вопросов. Я ограничусь замечанием, что выводы, вытекающие из эмпирически установленной неизменности среднего состава живого вещества в течение геологического времени, могут лишь, кажущимся образом, противоречить морфологической эволюции организованных существ.

Химический состав живого вещества нам известен лишь в самых общих чертах и в очень недостаточной мере.

577

Чтобы характеризовать состояние наших знаний, достаточно нам вспомнить, что у нас не имеется ни одного полного анализа какого-либо живого организма, сравнимого по своей точности и степени достоверности с нашими современными химическими анализами минералов или пород. Геохимик должен работать в двух научных областях, которые ему обе необходимы, — в области косной материи и в области живого вещества, — с научными фактами очень неравной точности. Ему приходится выводить научные следствия из большого количества неполных

и недостаточных данных. Существуют тысячи неполных или неравноценных анализов частей организмов или их общей массы, высушенных при различных температурах, доходящих до 125° Ц. Главная масса организма, — содержащаяся в нем вода — нам известна лишь из косвенных определений. Летучие части, так же как газообразные тела, образующиеся во время операции сушки до 100° Ц., всегда утрачиваются и не принимаются во внимание: они не отражаются на получаемых числах, имеются сотни, может-быть, тысячи анализов золы животных и растений, в которых отношение количества золы к весу живого организма не указано. Вообще, средний вес живого организма очень мало изучен, между тем как это число совершенно необходимо для всех геохимических выводов.

Анализы были сделаны в виду специальных задач, интересовавших биологов, или для разрешения практических вопросов, интересовавших зоотехников, врачей, земледельцев. Нам приходится разыскивать отдельные геохимические данные среди этой случайной массы фактов, собранных в течение века в результате огромной научной работы, в ожидании организации специального изучения химического состава живых существ, являющейся очередной научной задачей; оно должно быть произведено согласно требованиям геохимии.

Принимая во внимание такое состояние наших знаний, совершенно невозможно выразить (в более или менее точных числах) средний состав живого вещества.

Однако, можно постараться дать порядок распространенности в живом веществе некоторых химических элементов, входящих в его состав. Он должен быть дан для всех организмов, взятых в целом, для «живой природы».

В нижепомещаемой таблице я даю результат подобного определения, располагая элементы по декадам. Всякий ряд содержит химические элементы, количество которых достигает одинаковых десятков процентов среднего состава:

ТАБЛИЦА XIII.

I. 10^1	O, H.
II. $10^0 - 10^0$	C, N, Ca.
III. $10^{-1} - 10^0$	S, P, Si, K.
IV. $10^{-2} - 10^{-1}$	Mg, Fe, Na, Cl, Al, Zn.
V. $10^{-3} - 10^{-2}$	Cu, Br, I, Mn.

VI. $10^{-4} - 10^{-3}$	As, B, Fl, Pb, Ti, V.
VII. $10^{-5} - 10^{-4}$	Ag.
VIII. $10^{-6} - 10^{-5}$	Au.

Я даю это определение с оговоркой. Оно еще несовершенно. В нем имеются элементы такие, как золото, серебро, которые, быть-может, не входят во все организмы.

Но эта таблица, хотя и очень неполная, позволяет представить себе химическое действие живого вещества путем сравнения его состава с составом среды, в которой он обитает. К сожалению, к этому есть препятствия. Средний состав биосферы неизвестен. Мы точно знаем лишь состав литосферы, совершенно отличающийся от состава биосферы. Последняя содержит несколько процентов углерода. Мы, например, видели, что осадочные породы содержат его в среднем до 1—2%. Почвы еще более богаты им. Состав литосферы в среднем соответствует составу изверженных кислых пород, а не составу окружающей жизнь среды.

Хотя мы и не можем определить состава биосферы, но очевидно, что он гораздо ближе к среднему составу живого вещества, чем состав литосферы.

Для живых морских организмов это сравнение может быть сделано с известной точностью.

Средний состав гидросферы при современном состоянии наших знаний может быть представлен нижеследующим образом: 578

ТАБЛИЦА XIV

I. 10^1	O, H.
II. 10^0	Cl, Na.
III. 10^{-1}	Mg.
IV. 10^{-2}	S, Ca, K.
V. 10^{-3}	C, Br, N, Rb?, Sr.
VI. 10^{-4}	Si, P, Fe? Ag, U?
VII. 10^{-5}	F, J, B, Ar, Cu.
VIII. 10^{-6}	Li, Au, As.
IX. 10^{-7}	Zn?
X. 10^{-10}	Ra.

Сравнение этих двух таблиц дает нам уже ценные указания о химической работе живого вещества.

Вода в Океане химически разнородна. Она в растворе содержит соленую массу более или менее постоянного состава. Живое вещество, иногда сосредоточивающееся в огромных количествах, плавает в этой массе и рассеяно в ней.

В этих огромных скоплениях (на небольших площадях Океана, постоянно или временно) живое вещество может составлять несколько процентов общей массы воды. А так как его состав, несомненно, очень отличен от состава морской воды, то эти участки гидросферы химически резко отличаются от остальной его массы.

Без сомнения, состав морского живого вещества является функцией состава соленой воды. Это, однако, очень сложная функция, и явление это далеко не простое. Наблюдаемые аналогии большей частью лишь кажущиеся. Одна из самых известных аналогий такого рода указывает, что существует будто бы соотношение между составом соленой воды океана и соленой массой жидкостей позвоночных. В виду большой разницы, реально существующей между этими химическими телами, ее старались объяснить отличием соленой массы древних океанов, в которых жили предполагаемые предки земных млекопитающих, от состава современного океана. Однако, эта гипотеза противоречит установленным геохимическим фактам, и сходство в составе обеих жидкостей может иметь иное объяснение.

579 Живое вещество, взятое в целом (табл. XIII), имеет совершенно
580 иной состав, чем состав соленой океанической массы.

Живое вещество, рассеянное в морской воде, находится с ней в постоянном очень энергичном химическом обмене; оно постоянно ей уступает свои атомы и извлекает из нее новые. Мы видим, что оно сосредоточивает их с очевидной правильностью, как это вытекает из сравнения таблиц XIII и XIV.

Но раньше чем делать это сравнение, нужно заметить, что живое вещество заимствует лишь часть своего состава из соленой морской воды. Оно извлекает углерод и азот непосредственно из атмосферных газов или из газовых растворов в соленой воде. Оно представляет из себя аппарат, увеличивающий извне содержание азота и углерода в море.

Из сравнения таблиц XIII и XIV явствует, что живое вещество сосредоточивает в океане следующие элементы (табл. XV).

ТАБЛИЦА XV.

Cu, Ca	$n \times 10^4$	раза
F, B, K, S,	$n \times 10$	»
As, Si, P,	$n \times 10^3$	»
J, Fe	$n \times 10^2$	»
Zn	$n \times 10^3$	»

Оно не концентрирует Na, Cl, Mg.

Разнородное живое вещество Океана, взятое в целом, может быть рассматриваемо, как специальный механизм, совершенно изменяющий химию моря.

Вся химия Океана им охватывается. Оно обуславливает состав морских грязей и вадозных минералов, образующихся на морском дне; в конце концов с ним связаны происходящие из них минералы осадочных пород. Можно проследить его влияние глубже в метаморфических областях. Здесь его производными являются фреатические минералы, происшедшие из связанных с ними вадозных минералов. Это явление мы видели в истории нефтей.

Влияние живого вещества на химию Океана еще гораздо глубже, и его средний состав дает об этом слишком общее и недостаточное представление.

13. Организмы-концентраторы химических элементов.

Виды животных и растений, однородные живые вещества часто резко отличаются по химическому составу как друг от друга, так и от среднего состава живой природы.

Скопления однородных живых веществ, состав которых наиболее отличен от среднего состава живого вещества, имеют огромное значение не только в общей картине геологических явлений, но особенно в геохимической истории отдельных химических элементов.

Можно отметить живые вещества, характеризующиеся концентрациями определенных элементов.

Существуют два случая: 1-й случай, когда химический элемент концентрируется в них в количествах, превосходящих 10% веса живого организма (т.-е. попадает в первую декаду его процентного состава — стр. 198) и 2-ой случай, когда его количество превышает 1% и не достигает 10% этого веса (т.-е. попадает во вторую декаду).

Состояние наших современных знаний может быть представлено следующими двумя рядами химических элементов:

1) Химические элементы, находящиеся в количестве, превышающем 10% веса. Во всех организмах: O, H.

В некоторых только организмах: С, Са, Al, Fe, Si, Mg, Ва, S, Sr, Р, Мп?

2) Химические элементы, количество которых находится в пределах 1 — 10⁰/₀ по весу.

Во всех организмах: О, Н, С, N, Са.

В некоторых только организмах: Si, Al, Fe, Мп, Mg, К, Na, Cl, Zn, Р, Вг, J и, вероятно, Cu, V.

Таким образом, нам известны по крайней мере от 17 до 19 химических элементов, концентрирующихся в живом веществе. Эта концентрация приобретает еще большее значение в силу факта, что эти организмы-концентраторы специальных, химических элементов не являются какими-нибудь редкими организмами. Наоборот, организмы-концентраторы встречаются в больших количествах, дают значительные массы вещества, играют видную роль в экономии природы. Мы уже указывали этот факт для ферробактерий и марганцовых бактерий в истории марганца, для водорослей и губок в истории иода, для диатомей и радиолярий в истории кремния.

Живое вещество, через посредство специальных организмов-концентраторов химических элементов, регулирует химию этих элементов в земной коре. Очевидно, что это не случайный факт, но что живое вещество особого состава этим способом входит в качестве составной части в химический механизм земной коры. Химия организованных существ так мало изучена, что в этой области можно всегда ожидать новых открытий; так, например, лишь недавно были открыты организмы, стронциевые, бариевые, фосфорные или богатые Mg или Zn.

Из того факта, что минералогический состав нашей планеты тесно связан с живым веществом и остается неизменным в течение всего геологического времени, следует, что организмы-концентраторы одинаковых химических элементов, но разных морфологических форм, должны были существовать в течение всего геологического времени. При эволюции в новые виды или роды эта функция жизни должна была сохраниться без изменения. При вымирании такого вида он должен был заменяться другим, исполняющим те же функции, например, кремнеземный организм другим кремнеземным же.

Влияние живого вещества очень велико не только в истории тех элементов, для которых нам известны организмы-концентраторы, но и во многих других случаях геохимических процессов,

например, в истории тех элементов, в которой важную роль играет свободный кислород — продукт жизни.

История множества элементов обуславливается живым веществом.

Его значение до настоящего времени с несомненностью доказано для всех циклических и для большей части рассеянных элементов, всего для 48 элементов. Оно вероятно и для элементов редких земель.

Таким образом, история 99% по весу вещества земной коры в ее существенных чертах обусловлена жизнью.

14. Угольная кислота как единственный источник углерода в живом веществе.

Все живое вещество в конечном итоге происходит из угольной кислоты атмосферы или угольной кислоты, растворенной в воде, так как это единственные источники, из которых оно извлекает потребный ему углерод.

Все другие источники углерода, которыми живое вещество может располагать в земной коре, и даже большая часть самой угольной кислоты, генетически связаны с живым веществом же.

Правда, вулканические эманации, газы грязевых вулканов или газы, связанные с тектоническими движениями, содержат два других газа — CH_4 и CO — происхождение которых может быть иногда независимо от жизни, но количество их незначительно. Если существуют микроорганизмы, могущие жить на их счет и пользоваться ими для образования углеродных тел, они играют совершенно ничтожную роль по сравнению с большой массой живого вещества, углерод которого происходит из угольной кислоты.

Очевидность этого факта нам выяснилась в начале прошлого века. Важность атмосферы для питания зеленого растения и для образования его тела была признана, начиная с конца XVIII века после работ над газами атмосферы — Лавуазье, Пристлея, Кавендиша, Сенебье, Ингенхоуза. Повидимому, Ингенхоуз первый понял роль газообразной угольной кислоты. 581

Мы знаем теперь, что роль эта была предвидена учеными, предшественниками современных идей, гораздо раньше появления больших работ конца XVIII века над газами. Уже в XVII веке

582 предугадывали существование органов питания в листьях. В 1723 г. С. Гельс, основываясь на этих указаниях, видел в газообразном теле вещество, потребное для жизни растений. В 1776 г.

583 Д. Макбридж указал на угольную кислоту, как на такое тело.

Но лишь с появлением в конце века, в начале XIX века (1797—1804), больших работ женева Т. де-Соссюра, значение угольной кислоты атмосферы, как источника углерода для живого вещества, было окончательно установлено.

Однако, де-Соссюр испытывал сомнения, он не понимал всего значения своего открытия, он видел в угольной кислоте воздуха лишь главный источник углерода организмов.

Значение угольной кислоты воздуха, как единственного источника углерода живого вещества, было настоящим образом

584 понято лишь двадцать, тридцать лет спустя; оно было ука-

585 зано в теориях — по существу ложных нашего академика

586, 587 Г. Паррота и французского ботаника А. де-Броньяра.

Лишь после 80 — 100-летней научной работы, после исследований Буссенго в 1830 — 1840 гг., было окончательно устано-

588 живого вещества. С тех пор в это представление внесены

лишь исправления; открыты микробы, могущие обходиться без CO_2 , использующие углерод метана и окиси углерода, выяснены более сложные жизненные реакции водных организмов.

589 Распайль в 1833 г. доказал способность водных орга-

590 низмов использовать угольную кислоту бикарбонатов и, кроме того, растворенную угольную кислоту.

Угольная кислота так же как вода — тело, имеющее исключительную важность в земной коре. «Вода и угольная кислота, вещества, помещенные на поверхности нашей планеты слепыми силами космической эволюции, служат — с максимальным эффектом — к тому, чтоб сделать устойчивым, длительным и сложным как самый живой организм, так и мир, его окружающий».

591 Эти слова Л. Гендерсона дают ясное понятие об одном из наиболее характерных фактов химического строения нашей планеты. Угольная кислота так же как вода — тело единственное по своим свойствам среди всех других, и она так же приспособлена к жизни, как жизнь приспособлена к воде (стр. 104).

Без угольной кислоты не было бы жизни.

Угольная кислота вводится в живое вещество главным образом зелеными хлорофильными организмами.

В окружающей нас природе существует чрезвычайно тесная и сложная зависимость между живым веществом и угольной кислотой окружающей его среды. Весь организм приспособлен во всем своем строении к извлечению угольной кислоты и к ее переработке.

Способность извлечения из газообразной среды углекислоты и ее переработки в углеродистые органические соединения зависит от множества условий и очень различна для разных организмов. Она меняется в тесной связи с экологическими условиями обитания организмов, различна для растений солнечных, любящих свет и теневых, для разных классов и групп, может-быть, в связи с разным характером их хлорофилла. Она меняется под влиянием интенсивности освещения, температуры, количества углекислоты в окружающей среде.

В общем, повидимому, несомненно, что зеленые организмы, взятые в целом, способны извлекать и перерабатывать количества углекислоты, значительно превышающие ее среднее содержание в тропосфере. Несомненно, количества углекислоты порядка $1 \times 10^{-1} \%$ по весу и даже больше в общем благоприятны для жизни, тогда как среднее ее количество в тропосфере близко к $3 \times 10^{-2} \%$, т.е. количества углекислоты в пять раз, а, может-быть, и в десять раз большие, чем существующие, легко используются зелеными организмами. Нигде мы не видим в земной коре количеств углекислоты, заглушающих зеленую жизнь. И в то же время мы наблюдаем бесчисленные приспособления зеленых организмов к жизни с малыми ее количествами. Потенциальная сила живого вещества — извлекать и перерабатывать углекислоту в нужные для жизни вещества — значительно превышает реальную возможность ее претворения, существующую в биосфере.

Сейчас на суше в ее полях и лесах открывается картина природы, указывающая на еще более тесную связь углекислоты с жизнью. Организмы — зеленая растительность суши — используют для строения своего тела, следовательно, для создания живого вещества биосферы, главным образом, углекислоту биохимического происхождения, углекислоту, созданную жизнью. Уже де-Соссюр в конце XVIII и в начале прошлого века ясно сознавал значение для жизни зеленых наземных организмов — на ряду с углекислотой воздуха — углекислоты, выделяемой почвой. Сейчас работами последних лет это значение выявляется.

в таком масштабе, который не представлялся возможным прежним исследователям. Повидимому, правильно заключение Л ю н д е -
593 горда, основанное на своих и чужих опытах, что зеленая растительность перерабатывает и поглощает главным образом углекислоту, происходящую от дыхания почвы и что углекислота тропосферы только регулирует ассимиляцию углекислоты зеленой растительностью, служа резервуаром, откуда она ее черпает в случае недостачи. «Дыхание почвы» есть биохимический процесс, связанный с выделением углекислоты бактериями и грибами, интенсивное размножение которых тесно связано с интенсивным газовым обменом, с дыханием (т.-е. с выделением CO_2) мириадом мельчайших организмов, обитающих в тонком слое почвы, главным образом, в пределах от 5 сант. до 15 сант
594 глубины.

Этот небольшой слой в 10 сантиметров имеет решающее значение в истории жизни на суше.

Совершенно иную картину, однако, представляет жизнь гидросферы, хотя есть много и в ней еще неясного. В гидросфере сосредоточена главная масса зеленой жизни. Повидимому, эта жизнь всецело зависит от тропосферы, — для нее углекислота воздуха является главным источником, а не только регулятором поглощения и ассимиляции углекислоты.

Нельзя, однако, забывать, что режим углекислоты в Океане еще во многом неясен, и что в наши современные о нем представления неизбежно будут внесены большие поправки.

15. Динамическое равновесие угольной кислоты в атмосфере.

Количество угольной кислоты в тропосфере подвержено непрерывным колебаниям, большим, чем количества других, составляющих ее газов. Колебания эти, однако, не достигают того огромного размаха, какой наблюдается для паров воды. Все же эти колебания углекислоты в области доступной растительности суши могут доходить до очень больших величин,
595 обычно десятков процентов, временами больше 100%.

Эти колебания гораздо меньше в слоях атмосферы, удаленной от почвы, и в ней они менее устойчивы. Для этих слоев можно говорить о постоянстве ее среднего содержания с большим правом, чем мы это делаем для воды.
596

Постоянно присутствующая в тропосфере масса углекислоты близка к $2,2 \times 10^{12}$ метрических тонн. Гораздо большее ее количество ($1,84 \times 10^{14}$ метрических тонн) находится в морской воде, частью в газовом растворе, частью связанной с бикарбонатами. Масса воды в океане, как это доказал Шлезинг,—великий регулятор угольной кислоты в биосфере. Вода Океана возвращает ее в воздух, когда упругость паров угольной кислоты воздуха уменьшается, и поглощает ее обратно, когда эта упругость увеличивается.

Т. Шлезинг открыл (1878) важный факт в химии земной коры, подтвержденный позднейшими независимыми исследованиями. Этот факт, несомненно, имеет большое геологическое значение, так как отношение между площадями Океана и суши очень изменчиво в течение геологического времени. Все его геологическое значение еще далеко не выяснено.

Океан всегда содержит угольную кислоту в количествах, потребных для жизни и благоприятных ей. Морская вода слегка щелочная, она заключает в себе ионы водорода в слабом излишке,—она почти нейтральна. Но этот излишек имеет огромное влияние на жизнь организованных существ, и, чем глубже изучается влияние ионизации воды, тем ярче выступает ее значение.

Прав Л. Гендерсон, что регуляция этой ионизации — количества ионов водорода в воде — совершается с такой точностью, которая недоступна современным средствам наших лабораторий и напоминает точность хода небесных светил; это утверждение не является преувеличением.

Океан наиболее могущественный регулятор, но режим угольной кислоты атмосферы одновременно находится под влиянием двух других явлений земной коры — водных поверхностей суши и живого вещества. Правда, масса этого последнего немного превышает $10^{-2}\%$ массы всемирного Океана. Но его влиянием нельзя пренебрегать, так как угольная кислота входит в жизненный цикл, и с ходом времени влияние массы живого вещества становится во много раз больше влияния соответствующей массы воды.

Существование этих регуляторов резко меняет, может-быть, и понижает существующие для организма оптимальные условия в среде жизни и уменьшает то количество живой массы, которое может быть создано размножением.

В земной коре существует сила, превосходящая геохимическую энергию жизни, и эта сила уравнивает ее влияние, связывая угольную кислоту воздуха. Всемирный Океан и площади пресной воды являются такой силой; ее проявление выражается в упругости паров угольной кислоты в земных водных растворах, в образовании кислых бикарбонатов в этих водах. Эта сила не позволяет живому веществу извлекать из воздуха или из воды все то количество угольной кислоты, какое оно могло бы извлечь и которое оно потребляет, когда ему предоставляют газообразную угольную кислоту в избытке. Подобно всякому явлению равновесия, масса живого вещества (так же, как и его размножение, являющееся функцией угольной кислоты, поглощенной живым веществом) ограничивается другим явлением природы, не менее могущественным, чем она сама.

Явление, здесь наблюдаемое, очень сложно, и мы не можем еще учесть его во всем его масштабе. Повидимому, для зеленой растительности суши регуляция его количества может сказываться только тем влиянием, какое Океан оказывает на углекислоту тропосферы: главная часть углекислоты доставляется дыханием почвы, создается самым живым же—не зеленым—веществом.

Выходя на сушу в форме зеленого вещества, жизнь выходит из того сдерживающего ее количества напряжения, какое оказывает всемирный Океан.

Однако, сам Океан не представляет простой водный раствор; он переполнен жизнью. Должно существовать сложное равновесие, нам еще неизвестное, между количеством морского живого вещества, богатого животными, химическими свойствами бикарбонатов, массой углекислоты морской воды, биохимическим дыханием почвы и зеленой растительностью суши.

Таким образом, углекислота находится в состоянии сложного динамического равновесия в тропосфере. Подводя его итоги, мы видим, что угольная кислота освобождается в атмосфере: 1) путем вулканических выделений, горячих минеральных источников, природных газов, при выветривании изверженных пород, в которые она включена (ювенильная или фреатическая угольная кислота); 2) из растворов в морях и пресных водах (озера и реки) в связи с упругостью угольной кислоты воздуха (вадозная, частью биогенная углекислота); 3) через дыхание животных и растений во время их жизни, через химические

и биохимические процессы, связанные с их разложением после смерти путем гниения, через почвы, в каменноугольных газах (всегда биогенная углекислота). 603

Также связаны с жизнью ее выделения человеком в его технической работе — в печах, заводских домнах, при обжигании извести, в брожениях. Очень интересен и характерен факт в истории углерода, что количество угольной кислоты, этим путем выделяемое человечеством, увеличивается с ходом цивилизации. Оно уже достигло такого порядка, что должно быть принимаемо во внимание в геохимической истории биосферы. Так, количество угольной кислоты, выделяемое потреблением каменного угля, достигло в 1904 г., согласно вычислениям А. Крога, 7×10^8 метрических тонн, а в 1919, согласно Ф. Кларку, поднялось до 1×10^9 метрич. тонн. Это уже составляет 0,05% всей существующей в атмосфере массы угольной кислоты. Такое увеличение получает значение важного теллурического явления. 604 605

Цивилизованный человек нарушает этим путем установившееся земное равновесие. Это новая геологическая сила, значение которой в геохимической истории всех химических элементов все растет. Мы увидим, что это лишь отдельный факт великого общего природного явления (стр. 230).

Мы можем здесь лишь упомянуть еще об одном источнике угольной кислоты — угольной кислоте космической, значение которой сейчас нам совсем неясно. Углерод — элемент, играющий большую роль в планетном пространстве, как нам показывают метеориты и кометы. Несомненно, что сгорание угольных метеоритов и падающих звезд является непрерывно к нам проникающим источником космической угольной кислоты. 606

Всякую минуту устанавливается динамическое равновесие. Угольная кислота, тем или иным путем постоянно проникающая в атмосферу, не остается там; она уходит в окружающую среду. Главная ее часть дает на земной поверхности в биосфере — растворимые карбонаты, захватывающие металлические окиси, щелочные и щелочно-земельные, которые были связаны с кремнеземом. Как мы видели, силикаты и алюмосиликаты разлагаются на земной поверхности, давая коллоиды кремнезема, чистый кремнезем и каолиновые глины. Количества такой угольной кислоты, замещающей кремнезем и алюмокремне-

земные ангидриды, очень велики. Часть этой кислоты в виде карбонатов или бикарбонатов — в ионах CO_3 и HCO_3 — разлагается в природных водах и постоянно уносится реками в Океан: это — масса, отвечающая приблизительно 1×10^9 метрическим тоннам CO_2 в год. Вся же углекислота, связываемая выветриванием силикатов и алюмосиликатов (ими поглощаемая) не меньше 5×10^9 тонн, вероятно, больше 1×10^{10} тонн в год.

Не меньшая масса поглощается живым веществом и находится в теле живых организмов. Весь углерод живых организмов происходит в конечном итоге из угольной кислоты атмосферы. В какой-нибудь момент он, несомненно, существовал как таковой. Принимая во внимание данные об углероде живого вещества (стр. 188, 198), можно думать что общее количество угольной кислоты, существовавшей прежде, равняется приблизительно порядку 12×10^{13} тонн, — количество, гораздо более значительное, чем количество угольной кислоты атмосферы ($2,2 - 2,4 \times 10^{12}$ тонн).

Обычно его считают меньшим. Так, Аррениус полагает, что количество угольной кислоты, ежегодно собираемой живым веществом, не превосходит $\frac{1}{50}$ всей, массы угольной кислоты атмосферы.

Аррениус основывается на данных Ю. Либиха. Либих оценивал средний урожай почв в Центральной Европе в 2,5 тонн сухого органического вещества в год на гектар. Принимая же это число за среднее для всей земной поверхности, Аррениус получает $1,3 \times 10^{10}$ метрич. тонн CO_2 .

Известно (стр. 189), что эти числа не соответствуют действительности.

Я критикую здесь не числа, данные шведским ученым, но лишь его оценку порядка явления. Этот порядок иной, чем он думал.

Количество угольной кислоты, задерживаемое в каждую данную минуту в живом веществе не меньше, но напротив по крайней мере в десятки раз больше количества ее в земной атмосфере.

Живое вещество постоянно теряет свой углерод, выделяет его большей частью в виде биогенной угольной кислоты, в соответствии с жизненными явлениями. Очевидно, что для сохранения равновесия своего состава оно должно ежегодно извлекать из атмосферы гораздо большие массы углерода, чем те, которые

в нем содержатся в каждую данную минуту. Если это соответствует действительности, то отсюда следует, что вся угольная кислота тропосферы должна много раз пройти через живое вещество в течение одного года.

Угольная кислота проникает в живое вещество с помощью особого механизма через зеленые растения, имеющие приспособления, позволяющие им разбивать молекулу угольного ангидрида и переводить углерод в гидраты углерода или другие органогенные соединения (стр. 203). Самая большая масса углекислоты захватывается не зеленой растительностью суши, 612 которую мы видим вокруг нас, но планктонами Океана, т.-е. невидимыми одноклеточными водорослями, его переполняющими.

Существует, наконец, еще третий источник, поглощающий угольную кислоту воздуха—это Океан и поверхность вод. Связанная с этим огромная роль Океана и природных вод была уже указана.

Неизбежно, водные массы должны управлять количествами угольной кислоты воздуха. Равновесие должно непременно устанавливаться. Нарушение равновесия должно отражаться на всей химии Океана.

Но химия моря нам представляется неизменной. В течение геологического времени мы видим всегда те же реакции, те же минералы, что и ныне.

Постоянство химического состава и свойств морских осадков указывает, что за все геологическое время не было больших и внезапных изменений в количестве угольной кислоты атмосферы. Могли быть лишь колебания. Средняя этого количества всегда оставалась близкой к современной.

Динамическое равновесие угольной кислоты должно было всегда существовать в течение геологического времени. Мы в геологическом прошлом не видим никаких указаний на изменения в определенном направлении—ни на ее уменьшение ни на ее увеличение.

Колебание в содержании CO_2 в течение геологического времени теоретически представляется неизбежным, однако, ясные геологические указания отсутствуют. Аррениус их видит 613 в повторном появлении ледниковых периодов в течение геологического времени, объясняемом им изменением термической прозрачности атмосферы, вследствие различного количественного содержания ею угольной кислоты. Однако, явление ледниковых

периодов гораздо более сложно, и колебания в содержании уголь-
614 ной кислоты явно не могут его объяснить.

Допуская существование вековых или даже геологических
колебаний, можно предположить, что количество угольной кислоты
в атмосфере не остается вполне устойчивым и в настоящее
615 время. АРРЕНИУС, заканчивая свои исследования, выражает
мнение, что ее количество в настоящую эпоху постоянно уве-
личивается. Он указал на новый факт в ее истории, отсутство-
вавший в прошлые геологические эпохи, — деятельность цивили-
зованного человека. Мы уже видели значение этой деятельности
в выделениях угольной кислоты. Но итог человеческой деятель-
ности еще не подведен, и очень возможно, что влияние человека
простирается не только на выделение, но и на поглощение
угольной кислоты, связанное, например, с изменением человеком
количества зеленого живого вещества в биосфере.

Несомненно, что живое вещество находится в очень опре-
деленной связи с количеством угольной кислоты. Увеличение
этого количества чувствительным образом увеличивает коли-
616 чество живого вещества и обратно. Это стойкое динамиче-
ское равновесие (стр. 205).

16. Жизненный цикл.

Я буду называть равновесие между угольной кислотой
и живым веществом — жизненным циклом. Он имеет
громадное значение в геохимической истории углерода.

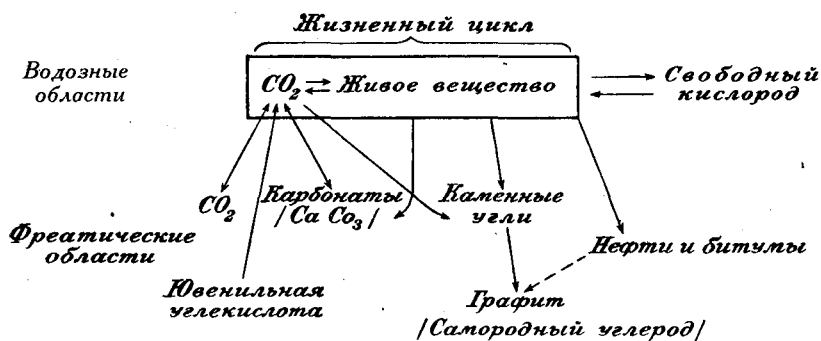
Наиболее выдающейся чертой жизненного цикла является
его неполная обратимость, так как он возвращает окружающей
среде лишь часть поглощенной угольной кислоты. Часть ее всегда
задерживается в жизненном цикле, другая выделяется в виде
углеродных биогенных минералов. Этот последний углерод
покидает геохимический цикл угольной кислоты и возвращается
в него иногда лишь через очень долгое время.

Главными группами таких биогенных углеродных минералов
являются карбонаты извести, каменные угли, нефти и битумы.
Все остальные происходят из них или образуют незначительные
по сравнению с ними массы.

История угольной кислоты может быть таким образом
представлена нижеследующей схемой (таблица XVI).

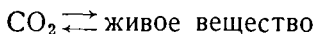
Количества углерода, потерянные для жизненного цикла в виде карбонатов каменного угля, нефти, соответствуют лишь маленькой части общего органического углерода. Живое вещество удерживает углерод в жизненном цикле. Это наиболее характерная черта геохимической истории углерода.

ТАБЛИЦА XVI.



Большая часть угольной кислоты, поглощенная организмами, всегда задерживается живым веществом. Даже когда угольная кислота выделяется одними из этих организмов, она мгновенно захватывается другими (дыхание почвы — стр. 206).

Этот факт был установлен великим натуралистом К. М. фон-Бэром в 1838 г. как закон бережливости природы по отношению к живому веществу. К. М. фон-Бэр заметил, что переход органического углерода в углерод неорганический, т.-е. в вадозные углеродные минералы, совершается с необыкновенной медленностью. Углерод выходит из жизненного цикла



лишь с большим трудом и в малом количестве.

Но все же он частью покидает цикл, и цикл таким образом становится в некоторой своей части необратимым. Это факт, имеющий огромное значение в истории земли.

17. Неполная обратимость жизненного цикла.

Интересно, что важность этого явления и его закономерность были отмечены более ста лет назад в очень замечательных и ныне забытых работах А. Снядецкого, выдающегося

618 польского ученого врача. Снядецки думал, что этот углерод вновь возвращается в жизненный цикл благодаря различным геологическим процессам, например, через вулканы; это соответствует действительности, если рассматривать вулканические явления широко, принимать во внимание магмы фреатических оболочек, сжигающие органические вещества.

Нет сомнения, что такое исчезновение углерода из жизненного цикла не случайный факт.

Карбонаты извести, каменные угли, битумы и нефти, в состав которых они входят, произошли из живого вещества. В организмах можно всегда найти определенные стойкие химические соединения, обыкновенно в минимальных количествах, образующиеся еще при жизни — соединения, которые после смерти и разложения организма дают начало углеродистым вадозным и фреатическим минералам. Лишь небольшая часть углеродистых соединений переходит в минералы, т.-е. надолго или на короткое время выходит из жизненного цикла. Сложный механизм этого превращения стал лишь в последние годы выясняться во всей своей всеобщности.

Эта подготовительная стадия была давно известна для известняков. Они образовались из раковин или скелетных частей организма, состав которых соответствует тесной смеси углекислого кальция и особых устойчивых азотистых органических соединений. Даже если углекислый кальций не образуется как таковой в живом организме, его синтез в природе в большинстве случаев биогенный; он отлагается в теплых водах 619 морей и океанов одноклеточными водорослями в виде оолитов и выделяется огромными массами под влиянием бактерий, например, 620 *Bacillus calcis*.

Бактериальный процесс образования углекислого кальция, недавно отмеченный Дрью, молодым, рано ушедшим от нас натуралистом, оказывается, по мере углубления в изучение этого явления, все более значительным. Роль его в природе еще нами не охвачена. Углекислый кальций осаждается в морской воде также 621 под влиянием продуктов разложения жизни — белковых веществ.

Тот же факт выясняется теперь по отношению к каменному углю. Я указывал уже на геологические условия его образования и на связь его с определенными организмами (стр. 173). 622

Оказывается, что господствующая часть — гумусовая масса — каменного угля генетически связана с лигнином, образующимся

еще в живом организме и имеющим особое молекулярное строение. Ф. Фишер и Шредер доказали, что исходным продуктом массы каменного угля является не целлюлоза, как долго думали, но ароматические соединения — лигнины, количество которых увеличивается во время превращения растений в торф, так как целлюлоза разрушается бактериями, удерживающими ее углерод в жизненном цикле. 623, 624

То же явление наблюдается и для нефтей (стр. 161): их азотистые и кислородные соединения — метилхинолеины, и, должно быть, холестеринны изготовляются живыми организмами еще во время жизни; они временно теряются затем для жизненного цикла. История углеводов, их составляющих, нам пока еще темна, но их основа создается живым веществом. 625

Лигнины и метилхинолеины представляют лишь ничтожные по весу части живого организма, но они в конце концов в виде своих производных собираются в огромных количествах, в вадозных или фреатических минералах углерода.

К тому же они сохраняются только при особых условиях, — обычно они не выходят из жизненного цикла. Организмы имеют множество приспособлений для их разрушения, для направления их химических элементов в жизненный цикл: углекислый кальций или лигнин разрушаются особыми многочисленными организмами, которым они нужны для жизни.

Таким образом, большая часть атомов углерода живого вещества всегда возвращается обратно или в живое вещество или в угольную кислоту; ничтожная часть этой массы сосредоточивается в вадозных минералах — в углекислом кальции, в органических веществах — гумусовых или смолистых. Эти новые продукты всюду рассеиваются, проникают, как мы видели, всю земную материю (стр. 148).

Лишь в особых случаях они дают скопления и концентрации углерода, месторождения каменных углей, смолистых сланцев, асфальтов, нефтей, известняков.

В общем живое вещество на суше — высшие и споровые растения, животные — не дают сколько-нибудь значительных скоплений углеродных вадозных минералов. Гумусы почв и гуано тропических стран представляют самые большие скопления, образовавшиеся в результате наземного разложения остатков и отбросов живого вещества.

Если эти вадозные минералы и их смеси претерпевают дальнейшие изменения в более глубоких слоях, — количество углеродных фреатических минералов, из них образующихся, всегда ничтожно по массе.

Углерод выводится из жизненного цикла на суше только в форме пыли, праха — является в рассеяниях (стр. 148). Этот прах только в глубоких фреатических или ювенильных областях может давать скопления новых углеродистых минералов, так как в этих областях раздробленное вещество неустойчиво, идет его перекристаллизация и агломеризация — его сгорание в CO_2 .

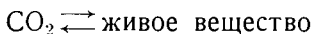
Бóльшие скопления углерода, теряющиеся для жизненного цикла, образуются при определенных условиях в водной среде.

При этом в водных бассейнах суши выпадают из этого цикла каменные угли, битумы, нефти. Изредка они связаны с окраинами океанов. В океанах выпадают карбонаты биогенного происхождения.

Мы видим, таким образом, что скопления углеродистых минералов являются частью огромного физико-географического процесса, связанного с геологическим временем и с жизненным циклом живой природы.

18. Цикл углекислого кальция.

Очевидно, что бóльшая часть углерода, могущего освободиться из цикла



удаляется из него в виде углекислого кальция, так как самая большая масса живого вещества сосредоточена в Океане.

Между вадозными углеродистыми минералами преобладают карбонаты.

Количество их определяется еще тем, что среди карбонатов преобладает карбонат кальция; их образование связано с историей этого элемента, количество которого в несколько раз превышает количество углерода. Если количество углерода в земной коре соответствует

$$8,0 \times 10^{16} \text{ метрическим тоннам,}$$

то количество кальция приблизительно равняется

$$6,5 \times 10^{17} \text{ метрическим тоннам.}$$

Углеродные вадозные минералы находятся всюду и иногда, как, например, известняки или каменные угли, в огромных количествах.

Получается даже иллюзия о большем, чем есть в действительности, их значении, так как забывается, что это лишь ничтожные остатки когда-то существовавшего живого вещества. Количество углерода, каждый год выходящего из жизненного цикла, не велико; но в течение геологического времени его набираются огромные массы.

Порядок количества этих масс изображен на нижеследующей таблице, могущей дать представление о масштабе изучаемого явления (таблица XVII):

ТАБЛИЦА XVII.

1. CO ₂ , отвечающая углероду живого вещества	$5 \times 10^{13} - 5 \times 10^{14}$ метр. тонн.	
2. CO ₂ атмосферы	$2,2 \times 10^{12}$ метр. тонн.	626
3. CO ₂ Океана	$1,0 \times 10^{14}$ метр. тонн.	627
4. CO ₂ известняков	$3,1 \times 10^{16}$ метр. тонн.	
5. CO ₂ , отвечающая каменным углям, согласно исчислениям Геологического Конгресса	$2,2 \times 10^{13}$ метр. тонн.	628

Эта таблица выявляет нам огромную массу угольной кислоты, которая перешла из живых организмов в известняки. Это лишь минимум, но все же числа эти могут дать нам понятие о порядке явления. Несомненно, повидимому, что количество CO₂, освободившееся из жизненного цикла в виде углекислого кальция, в сотни раз больше всего количества угольной кислоты, находящейся в данный момент в атмосфере, в Океане, в живом веществе, и угольной кислоты, соответствующей углероду пластов каменного угля, технически доступных.

Не менее несомненно, что масса эта меньше массы угольной кислоты, отвечающей рассеянными углеродистым соединениям, битумам, углеводородам, гумусовым веществам, карбонатам, самородному углероду различных форм. Все земное вещество проникнуто этим углеродом (стр. 148), и нельзя найти вадозных или фреатических пород, в которых он бы отсутствовал. Его может быть меньше в ювенильных породах, но все же, несомненно, больше, чем мы думаем.

Несколько чисел могут дать понятие о порядке этих количеств. Так, реки ежегодно изливают в Океан органические вещества в количествах, превышающих 2×10^8 метрических. 629 тонн. Количества этих веществ, растворенных в морской воде, соответствуют по меньшей мере массам в 5×10^{12} метр. 630 тонн и, вероятно, еще гораздо более значительным.

Но воды представляют лишь 7% массы земной коры, и те же следы в гораздо больших количествах находятся и образуются повсюду. Огромные количества их рассеяны в осадочных породах, за исключением известняков и доломитов. Согласно 631 Ф. Кларку, в таком состоянии находится не менее 7×10^{15} метрич. тонн углерода. Однако, Ф. Кларком были приняты во внимание лишь сланцевые и глинистые породы и оставлены в стороне песчаники. Но мы знаем, что нет осадочного кварца, в котором бы отсутствовали органические вещества. Указанные 7×10^{15} метр. тонн углерода соответствуют по меньшей мере 2×10^{16} метр. тонн органических и углеродных веществ. 632

Это рассеяние углерода сопутствует каждому химическому явлению, каждому жизненному процессу. Я упоминал о большом количестве угольной кислоты, постоянно выделяемой человеком в атмосферу при сжигании каменного угля (стр. 212). Это количество до войны, несомненно, превышало 1×10^9 метр. 633 тонн CO_2 . Согласно опытам, правда, давним, А. Смита, в то же время рассеивалось в виде битумов и черного дыма (1871) по крайней мере 1×10^7 метр. тонн в год.

Таким образом, можно считать доказанными два факта: 1) что большая часть массы углерода, освобождающаяся из жизненного цикла, находится в состоянии крайнего рассеяния в каждом земном веществе и, 2) что наибольшая часть этого углерода находится там в виде карбонатов, главным образом, в виде углекислого кальция.

Это образование карбонатов—в этой форме и в форме известняков—имеет большое значение в геохимической истории кальция. Я не могу здесь войти в эту историю. Скажу лишь несколько слов об этом великом биогенном явлении. Мы почти не встречаем неорганических известняков, чисто химических осадков CaCO_3 . Внимательное изучение земных реакций нам все больше доказывает, что это по большей части осадки биогенно-химические. В настоящее время мы не знаем ни одной вадоз-

ной химической реакции, дающей значительные скопления карбонатов кальция, которая была бы независима от жизни. Несомненно, есть случаи, когда карбонат кальция образован чисто химическими реакциями, но он тогда рассеян, образует небольшие скопления, которые почти всегда немедленно вновь поглощаются организмами.

Мы видели, что кальций — наиболее распространенный в организмах металл (стр. 198). Он принадлежит в них ко 2-ой декаде, его количество в живом веществе в среднем превышает 10% по весу; порядок его в живом веществе тот же, что углерода и азота. Организм его всюду выскрывает; если он находит его среди доступных ему рассеяний кальция, он его немедленно поглощает, напр., из пыли, содержащей углекислый кальций. В силу этого углекислый кальций в рассеянном состоянии немедленно вступает в живое вещество, в жизненный цикл. Организм совершает огромную работу, чтобы его добыть. Так, например, согласно расчетам Г. Бишофа, одна устрица для построения своей раковины должна провести через свое тело количество воды, превышающие от 2,7 до $6,6 \times 10^4$ раз ее вес. 634

Эта работа совершается теперь, так же, как совершалась в течение всего геологического времени, главным образом, в Океане бесчисленным количеством организмов.

В воде Океана углекислый кальций не существует как таковой. Кальций вносится в нее в виде карбонатов и бикарбонатов реками, большею частью разложенным на ионы; в морской воде его количество уменьшается чрезвычайно быстро под влиянием жизни, и невероятно, чтобы он мог существовать там в форме карбонатов.

Углекислый кальций образуется в море в твердом состоянии почти исключительно в живом веществе, или биохимическим путем. Часто указывали на образование углекислого кальция в поверхностных частях моря, но становится все более очевидным, что это также биохимический процесс, связанный с жизнью микробов.

В организмах углекислый кальций кристаллизуется в тканях в очевидной связи с физиологическими функциями. Он всегда тесно смешан с азотистыми органическими материями.

При отсутствии или бедности жизни в природных условиях кальций, главным образом, выделяется в виде сульфатов при быстром испарении и концентрации соленой воды.

Биогенное выделение кальция в морской воде, в Океане, дает одни лишь карбонаты. Морская вода наполнена жизнью, осаждение карбонатов является биохимическим процессом; сульфаты начинают образовываться лишь в концентрированных водах, уже лишенных жизни.

635

636

Это явление не зависит от геологического времени. В Океане всегда существуют тысячи видов животных и растений — концентраторов кальция, кальциевых организмов. Они содержат более 10% кальция в своей живой массе. Кальций в них находится в большем количестве, чем углерод, и его процентное содержание того же порядка, как содержание кислорода и водорода. Эти организмы — моллюски, брахиоподы, иглокожие, кораллы и гидроиды, черви, водоросли, криноиды — оставляют в своих отбросах после смерти огромные количества кальция и углерода в виде карбонатов. Часть этих карбонатов вновь растворяется и в жизненном цикле немедленно вступает в живое вещество, другая часть поглощается другими организмами и не покидает больше жизненного цикла. Но очень заметная часть раковин и скелетных частей остается более или менее нетронутой и образует скопления кальция и углерода. Когда, благодаря геологическим явлениям, например, отложениям новых осадков, она изолируется от влияния живого вещества, она дает известняки путем дальнейшего диагенеза.

Теперь очевидно, что большая часть этого углекислого кальция не образуется большими организмами, привлекающими наше внимание среди великого богатства жизни Океана. Самая большая часть образуется организмами, невидимыми глазу. Долго принимали во внимание лишь фораминифер. Их значение в образовании известняков было доказано почти сто лет назад Эренбергом, введшим вновь в науку старый принцип Линнея — *omne calx e vermibus* — вся известь происходит из червей, т.-е. беспозвоночных животных, согласно нашей современной терминологии. Лет двадцать назад было открыто, что еще гораздо большее значение имели существа, несравненно более мелкие: одноклеточные водоросли планктона — кокколитофориды, кокосферы, рабдосферы. Они водятся в огромных количествах и воспроизводятся с невероятной быстротой. В нашем веке открыли еще новые организмы, еще меньшие, кальциевые бактерии, повидимому, представляющие еще более могущественный механизм для образования углекислого кальция.

637

638

Возможно определить количество или, вернее, порядок количества углекислого кальция, осажденного жизнью на дне Океана. Оно огромно. Можно сказать, что вся масса кальция, ежегодно вливаемого реками в Океан в виде карбонатов и бикарбонатов, отлагается в нем в тот же срок в виде биогенного углекислого кальция.

Числа Ф. Кларка это ясно показывают (табл. XVIII).

ТАБЛИЦА XVIII.

Количество кальция, вливаемого реками в растворе, в ионах $\text{CO}_3^{''}$ и $\text{HCO}_3^{''}$.	} 4, 5, 6×10^8 метр. тонн.	639
Количество кальция, осаждаемого в виде известняков		
	} $6,6 \times 10^8$ метр. тонн.	640

Таким образом, вторичный геохимический цикл углерода на земной поверхности является жизненным циклом, не вполне обратимым. Часть углерода постоянно из него уходит.

Количество этого выходящего углерода, как бы оно ни казалось нам великим, представляет лишь ничтожную долю всего углерода жизненного цикла:



Главная часть этого углерода, теряемая жизненным циклом, как мы видели, отлагается в виде CaCO_3 . Таким способом ежегодно отлагается $2,2 \times 10^8$ метр. тонн углерода. С первого взгляда кажется, что это большая часть того углерода, который в каждый данный момент находится в живом веществе.

Но масса углерода, прошедшего в течение одного года через живое вещество, без сомнения, больше, чем его масса, заключающаяся в живом веществе в данный момент. Мы знаем, что она огромна, но еще не можем сейчас ее определить.

Мы должны сравнивать углерод углекислого кальция со всей массой углерода, связанного с жизненным циклом, а не с углеродом живого вещества. Очевидно, что он в таком случае будет отвечать незначительной части такого углерода, долям его процента.

Но эти небольшие доли процента, собранные в течение геологических веков, дают огромную массу вещества, и процесс их образования имеет первостепенную важность в химии земной коры.

Повидимому, масса эта ограничена и не растет беспредельно в течение геологического времени. Благодаря этому, углерод вновь входит в газообразную угольную кислоту и возвращается в жизненный цикл.

Можно предположить, и уже старые натуралисты, как А. Снядецкий, это думали, что весь углерод жизненного цикла в конце концов возвращается в него через достаточно продолжительное время из земных глубин, т.-е. из фреатической области.

Мы не можем этого, однако, сейчас доказать. И мы даже должны допустить, что если он и возвращается в него, то это происходит за счет энергии, независимой от солнечного излучения, питающего жизненный цикл.

Лишь небольшая доля рассеянного углерода мало-по-малу под влиянием кислорода (и озона) превращается на земной поверхности в угольную кислоту и таким образом вновь увлекается в жизненный цикл.

Большая часть такого углерода превращается в CO_2 лишь в глубинах, в метаморфических и в ювенильных областях под влиянием теплоты глубоких слоев земной коры. Пока углерод туда не проникает, он остается вне жизненного цикла. Рассеянный углерод может оставаться неопределенное время в таком состоянии.

Но, оставаясь иногда миллионы лет в форме свободного углерода, карбонатов, углей, нефтей, битумов, вне жизненного цикла, по выходе из него, углерод этим создает и поддерживает в механизме биосферы аппарат огромного первостепенного значения.

Только этим путем создается возможность для существования в биосфере соответственных масс свободного кислорода.

641 В процессе жизни живое вещество, разлагая угольную кислоту
и воду, выделяет кислород, собирающийся в свободном со-
642 стоянии: это — кислород атмосферы.

Весь кислород атмосферы имеет такое происхождение.

Если бы углерод не выступал из жизненного цикла в виде углеводов, угля свободного углерода, карбонатов кальция, свободного кислорода не существовало бы вовсе, не было бы также, следовательно, тысяч важнейших химических реакций биосферы, с ним связанных.

Ибо свободный кислород земной коры чрезвычайно активен; он одарен свободной химической энергией, в степени, несравнимой с другими распространенными химическими элементами.

Должно, следовательно, существовать простое численное соотношение, еще нам не известное, между количеством свободного кислорода нашей планеты и массой каменных углей, битумов и нефтей, карбонатов, в ней существующих.

Таким образом, изучение необратимости жизненного цикла приводит нас к еще более глубоким проблемам.

Оно приводит нас в научную область, находящуюся в процессе образования и касающуюся великих задач жизни и энергетики. Это область будущего — энергетики нашей планеты.

Приблизительно восемьдесят лет назад немецкий врач из Гейльбронна Р. Майер первый понял, что зеленые растения, в силу факта своего существования, изменяют энергетику земной коры. Они превращают лучистую энергию солнца и захватывают ее в благоприятной для химических процессов, развивающихся на нашей планете, форме. 643

Эти идеи Р. Майера остались непонятыми долго спустя после проникновения в научную мысль его же идей об единстве и сохранении энергии. Р. Майер несколько раз возвращался к этим представлениям после первого их опубликования; он из них вывел заключение (с тех пор само собою разумеющееся), что каменные угли содержат энергию «ископаемую», энергию солнечных лучей, принадлежащую прошлым геологическим эпохам, и что человек, употребляя эти горючие ископаемые, вновь пускает эту энергию в ход. 644

Живое вещество в форме зеленого растительного мира накапливает солнечную энергию; собранная этим путем сила может быть сохранена миллионы лет в виде каменного угля, вадозного минерала углерода.

Мы теперь должны обобщить идею Р. Майера. Солнечная энергия, через посредство живого вещества, пребывает в потенциальном — «ископаемом» — состоянии не только в каменном угле, происходящем прямо из зеленых растений, но во всех вадозных минералах углерода, в углекислом кальции и в других биогенных минералах, в большинстве

вадозных минералов, повидимому, до известной степени во всех.

Несомненно, что все продукты, связанные с жизнью, являются собирателями солнечной энергии. Если даже энергия проявляется в них в виде молекулярной химической энергии, действие ее стало возможным только благодаря лучистой энергии солнца, захваченной живым организмом, превратившим ее в химическую энергию.

Мы здесь касаемся явлений жизни самых глубоких из всех, какие были до сих пор изучаемы наукой. Необходимо не обходить их молчанием, чтобы понять все философское и научное значение затронутых геохимией явлений.

19. Принцип Реди.

С этой точки зрения два общих явления в ходе жизни на земной поверхности сразу захватывают наше внимание.

Во-первых, существование резкой границы между живым и косным веществом.

Во-вторых, совершенно особый характер энергии, связанной с проявлением жизни. Эта энергия кажется нам отличной от энергии почти всех других природных процессов.

Оставаясь в области эмпирических фактов, мы констатируем, что нигде и ни в какой момент на нашей планете не создавалась новая жизнь. В геохимических явлениях, изучаемых нами, она всегда существовала как таковая. Самые отдаленные космические периоды истории Земли не подлежат научному изучению геологии и геохимии. Мы всегда должны различать положительные научные факты от неизбежно гипотетических, космогонических предположений, даже, если эти последние излагаются в научной форме. Я не сомневаюсь в их полезности для успехов науки, но они по точности и по значению совершенно несоизмеримы с фактами наблюдения и опытов. Нельзя опираться на космогонические выводы, когда нет соответствующих точных эмпирических фактов, подтверждающих без всяких сомнений выводы, из них сделанные.

Прошло уже больше двухсот пятидесяти лет с той поры, как флорентийский ученый, врач, поэт и натуралист Ф. Реди первый высказал совершенно новую в истории человечества идею, сформулированную несколько десятилетий после него дру-

гим крупным итальянским натуралистом А. Валлисньери в кратких словах: «Omne vivum e vivo» (Все живое от живого).⁶⁴⁵ Это было отрицание самопроизвольного зарождения и абиогенеза и провозглашение непрерывного единства живого вещества с самого его начала, если таковое было. После работ Л. Пастера стало чрезвычайно трудно поколебать этот взгляд на Природу, — этот эмпирический принцип, опирающийся на огромное число точных научных фактов. И хотя до сих пор существование абиогенеза пытаются доказать, но тщетно. Эти многовековые стремления вызываются не эмпирическими фактами, но привычками философской мысли, очень глубокими традициями, на которых основаны представления о мире, связанные с религиозными и поэтическими, чуждыми науке, воззрениями.

646

Изучая геохимическую историю углерода, мы не видели в ней следов абиогенеза; нигде не существует органических соединений, независимых от живого вещества, которые бы свидетельствовали о существовании такого процесса в течение геологического времени.

647

Геохимия доказывает тесную связь живого вещества с историей всех химических элементов, она нам являет его как часть механизма земной коры, совершенно отличную от косной материи. Нет места для абиогенеза, для самопроизвольного зарождения, и нет признаков его существования.

Мы должны сохранить эмпирический принцип Реди и признать за факт, до сих пор не поколебленный, что во все течение геологического времени все время существовала непроходимая граница между живым и косным веществом, и что в течение всего этого времени имели место те же явления обмена химическими элементами между этими двумя проявлениями Природы.

Идея о вечности, столь глубоко проникающая философскую и религиозную жизнь Азии, постепенно входящая в наше научное представление о Космосе, кажется совершенно законной в рамках этих эмпирических фактов.

Живое вещество всегда в течение всего геологического времени было источником энергии, — веществом, находящимся в активном состоянии, имевшим большое влияние на геохимическую историю химических элементов во всей земной коре.

Обычная косная материя земли ничего подобного на всем протяжении биллионов лет не представляла и не представляет.

20. Энергия живого вещества и принцип Карно.

Мы приходим, таким образом, ко второму эмпирическому обобщению, отличающему в общем аспекте Природы явления жизни: к особому характеру энергии этих процессов.

История идей, относящихся к энергетике жизни, взятой в рамках Космоса, указывает на почти непрерывный ряд мыслителей, ученых и философов, приходящих более или менее независимо к одним и тем же идеям, но не углублявших поставленных ими проблем. Кажется, будто давно уже царил благоприятная современным идеям атмосфера. Мы находим краткие, но совершенно ясные указания на энергетическое отличие живого и мертвого — в рамках их проявлений на нашей планете уже в трудах основателей энергетике — у Р. Майера, В. Томсона (лорда Кельвина), Г. Гельмгольца. Эти указания не были поняты и оценены.

Уже позже и независимо рано умерший С. А. Подольский понял все значение этих идей и старался их приложить к изучению экономических явлений. Эти идеи играют большую роль в концепциях философов, в философии Г. Бергсона в частности.

Но мне кажется, что Дублинский профессор Джоли наиболее полно первый установил особый энергетический характер живого вещества, как противоположного косной материи, и несколько раз выводил из этого положения важные следствия. С той поры к этому не раз возвращались независимо от него и в XX в. Эти идеи все больше проникают нашу научную мысль, хотя они еще не приобрели необходимой устойчивости и не окончательно внедрились в наши представления о мире.

Геохимическая история углерода неизбежно приходит к этим идеям, которым, несомненно, принадлежит будущее.

Природные явления, выраженные энергетически, обыкновенно сводятся к принципу Карно. Мы видим, что они всегда связаны с деградацией энергии; количество деятельной энергии, способной производить работу, падает с каждым природным явлением. Энергия рассеивается в виде тепла, — Энтропия Мира, как говорил Клаузиус, увеличивается, и уровень тепла выравнивается. Если мир имеет границу, если совокупность природных явлений конечна, — из этого должен последовать конец мира — уравни-

вание энергии, которое не позволит проявиться никакому природному явлению, связанному с энергией. Долгое время эти выводы считались достоверными следствиями, законами природы; не находили исключений из этого правила, столь богатого важными научными открытиями. Философская идея о конце мира вместе с тем соответствовала глубоким человеческим настроениям, идеальным антропоморфическим представлениям о Природе. И до сих пор ценность и общность принципа Карно очень разнo оценивается учеными и философами.

К уточнению этой оценки все больше приводит нас эволюция современной научной мысли. Перед ней вскрывается здесь кажущееся свободным новое поле математических и философских построений. Ибо глубоко меняется наше представление о соотношении между материей и энергией. Не только резко, коренным образом изменилось наше понимание материи. Давно отошли в прошлое материя не только С. Карно (1824), но и материя Р. Клаузиуса (1854). Само представление об энергии, под влиянием эмпирических обобщений, начинает меняться; ход и последствия этого изменения нами сейчас предвидены быть не могут.

Принцип Карно, неизбежно, получит новое понимание.

Проявления жизни являются эмпирическим фактом, с трудом входящим в рамки других природных явлений — в аспекте принципа Карно. Уменьшение энергии, ее рассеяние в виде тепла, не имеет места в жизни (такой, как мы ее понимаем) зеленых хлорофильных растений или автотрофных микробов.

Наоборот, в силу факта существования этих организмов, количество энергии, способной производить работу, очевидным образом увеличивается к концу их жизни в окружающей природе. Свободный кислород, изготовляемый зелеными растениями, каменный уголь, образующийся из их остатков, органические соединения их тел, питающие животных, движения и другие физические и химические проявления, очень различные и многочисленные, организованных существ, представляют явления новой деятельной энергии, не сопровождаемой деградацией лучистой энергии солнца. Физиологи, изучающие машину животных, особенно высших, не считали себя иногда обязанными делать эти выводы. Однако, мир животных существует лишь за счет зеленого живого вещества. И если бы зеленые растения погибли, он неминуемо должен был бы

разделить их судьбу. Мир животных сам по себе не представляет жизни. Животный организм рассеивает внутри своей машины энергию, накопленную зелеными организмами, обладающими пластидами. Но вся совокупность животных, особенно цивилизованное человечество, повидимому, соответствует тем же энергетическим проявлениям, которые столь характерны для зеленых растений. В своей совокупности животные и растения, вся живая природа, представляют природное явление, противоречащее принципу Карно в его обычной формулировке. Обыкновенно в земной коре, в результате жизни и всех ее проявлений, происходит увеличение деятельной энергии. В явлениях биосферы, в силу существования жизни, энтропия Вселенной должна бы была уменьшаться, а не увеличиваться.

654 Эмпирическое обобщение вызвало новые спекуляции. Немецкий физик Ф. Ауербах увидел в нем выражение нового принципа, противоречащего энтропии. Он назвал его эктропией. Он и другие исследователи старались вывести из него космогонические следствия.

Ничто, однако, не заставляет нас делать новые гипотезы. Энтропия Клаузиуса не имеет реального существования, это не факт бытия, это математическое выражение, полезное и нужное, когда оно дает возможность выражать природные явления на математическом языке. Эти выражения всегда приблизительны, если их сравнивать с эмпирическими фактами. Последствие, вытекающее из констатированного факта особенного энергетического проявления жизни, может указывать, что принцип Карно в своем обычном выражении слишком прост, что он должен иметь менее абсолютное толкование, что он
655 не всеобщ.

Но возможно, что это противоречие обманчиво, что мы не изучаем еще жизнь во всех ее проявлениях, что мы изучаем лишь часть очень сложного явления, которое, будучи взято
656 в целом, не противоречит этому принципу.

Как мы увидим ниже, в XX веке были открыты новые природные явления, вызывающие те же кажущиеся или действительные противоречия принципу Карно в его обычном понимании, к каким приводят и живое вещество.

21. Энергия биосферы и живое вещество.

Но вернемся к геохимической истории углерода и живого вещества. Мы видим в ней очень ясное выражение того же энергетического проявления жизни.

Живое вещество увеличивает деятельную энергию земной коры двумя различными способами. Оно увеличивает ее, благодаря своим обратимым процессам, выделением свободного кислорода, вызываемой им миграцией других химических элементов среды. Оно производит таким образом большое количество кинетической энергии и вообще деятельной энергии за счет солнечного излучения. Его распространение на всей поверхности нашей планеты играет большую роль в усилении ее химической активности. Аппарат его размножения является своеобразным и ни с чем несравнимым механизмом растекания геохимической энергии, регулирующей миграцию элементов в биосфере, на всей ее поверхности. Скорость растекания в наиболее приспособленных с этой целью организмах достигает предела, физически возможного.

657

Живое вещество становится, таким образом, регулятором этой энергии биосферы. Оно распределяет ее по всей земной поверхности более или менее единообразно. Весь поверхностный слой планеты становится, таким образом, через посредство живого вещества, полем проявления кинетической и химической энергии.

Это растекание деятельной энергии, повидимому, неизменно так же, как неизменна солнечная радиация.

Вместе с тем, благодаря геохимическим обратимым процессам, живое вещество собирает лучистую энергию Солнца и передает ее более глубоким слоям коры, в виде химических соединений, могущих при определенных условиях вызывать выделение деятельной энергии, в значительной мере в виде карбонатов. Количество этой накопленной энергии увеличивается с течением времени до предела, определяемого геологическими явлениями. Лучистая энергия Солнца таким же образом концентрируется через посредство живого вещества во всех химических соединениях, образованных свободным кислородом (всегда биогенным), во всех биогенных и, вероятно, во всех вадозных минералах без исключения, которые всегда более или менее связаны с жизнью.

Эта энергия постепенно выделяется по мере разложения таким способом образованных соединений и их превращения в устойчивые соединения при новых термодинамических условиях.

Для углерода мы знаем две несомненные формы этих устойчивых соединений, почти уже не содержащих накопленной энергии солнечных лучей. Это чистая угольная кислота и графит, самородный углерод. Чистая газообразная угольная кислота возвращается на поверхность и там вновь входит в жизненный цикл. Графит остается совершенно инертным, если только в тонко дисперсном и распыленном состоянии он не окисляется под влиянием организмов или, когда, достигнув ювенильных областей или магм, он вновь вступает в многочисленные химические реакции, под влиянием свободной энергии, высокой температуры этих областей.

Эти химические реакции могут идти для стойких углеродистых веществ только благодаря их чрезвычайной распыленности. Распыленность — рассеяние углерода — очевидно, связана с живым веществом (стр. 148), т.-е. она в конце концов производится солнечной энергией.

В общей экономике земной коры большие скопления известняков, каменных углей или нефтей являются господствующей формой углерода. Но их мелкие массы, рассеянные «следы», всюду находимые, играют гораздо более значительную роль.

Они химически деятельны, окисляются, всюду становятся центрами химической деятельности.

Вследствие их малых размеров, благодаря молекулярным силам их поверхностей, они вызывают невозможные с обычной энергетической точки зрения химические реакции, проявляющиеся в грандиозных геохимических явлениях.

С геологической точки зрения важно отметить, что механизм этого рассеяния сконцентрирован не в Океане и в морях, где собрана самая большая масса живого вещества, но на континентах и островах, особенно в газообразной атмосфере.

Мы видим здесь новую форму геохимической роли этих частей земной коры.

22. Геохимическая деятельность человечества.

Геохимический цикл углерода и с ним вместе геохимическая история других химических элементов не остаются неизменными с течением времени. Несомненно, что во время эво-

люции животных и растительных видов, химические молекулы, их образующие, не остаются теми же самыми. Но это изменение химического состава проявлялось в течение геологического времени лишь внутри, в живом веществе. Вне его, в косной материи, начиная с архейской эры до плейстоцена, создавались одни и те же ассоциации одних и тех же минералов.

Но в нашу геологическую эпоху — психозойную эру, эру Разума — появляется новый геохимический фактор капитальной важности. В течение последних тысяч лет геохимическое воздействие человечества, захватившего посредством земледелия зеленое живое вещество, стало необыкновенно интенсивным и разнообразным. Мы видим удивительную быстроту роста геохимической работы человечества. Мы видим все более яркое влияние сознания и коллективного разума человека на геохимические процессы. Человек ввел новую форму действия живого вещества на обмен атомов живого вещества с косной материей. Раньше организмы влияли на историю только тех атомов, которые были нужны для их роста, размножения, питания, дыхания. Человек расширил этот круг, влияя на элементы, нужные для техники и для создания цивилизованных форм жизни. Человек действует здесь не как *Homo sapiens*, а как *Homo faber*.

659

660

И он распространяет свое влияние на все химические элементы. Он изменяет геохимическую историю всех металлов, он образует новые соединения, воспроизводит их в количествах того же порядка, какой создался для минералов, продуктов природных реакций. Это факт исключительной важности в истории всех химических элементов. Мы видим в первый раз в истории нашей планеты образование новых соединений, невероятное изменение земного лика. С геохимической точки зрения все эти продукты — массы свободных металлов, таких, как железо, медь, олово или цинк, массы угольной кислоты, произведенной обжиганием извести или сгоранием каменных углей, огромные количества серного ангидрида или сероводорода, образовавшихся во время химических и металлургических процессов, и все увеличивающееся количество других технических продуктов — не отличаются от минералов. Они изменяют вечный бег геохимических циклов.

Очевидно, что это не случайный факт, что он был предзаложен всей палеонтологической эволюцией. Это такой же

природный факт, как остальные, и мы видим в нем новое явление, в котором живое вещество действует как-будто в противоречии с принципом КАРНО.

Где остановится этот новый геологический процесс? И остановится ли он? Поэты и философы дают нам ответы, которые человеку науки часто не кажутся невероятными и невозможными. Изучение геохимии доказывает важность этого процесса и его глубочайшую связь со всем химическим механизмом земной коры. Он находится еще в состоянии эволюции, конечный результат которой от нас еще скрыт.

Но таков, как он уже есть теперь и каким, наверно, останется через века, — он является фактором, все резче изменяющим обратимые геохимические циклы всех элементов. Он вводит новые соединения, и эти соединения еще более неустойчивы в термодинамических условиях земной коры, чем те, которые существовали раньше, они являются источником более интенсивной активной энергии, увеличивают свободную энергию земной коры, устанавливающуюся с незапамятных времен.

Человек всюду увеличивает количество атомов, выходящих из старинных циклов — геохимических «вечных циклов». Он усугубляет нарушение этих процессов, вводит туда новые, расстраивает старые. С человеком, несомненно, появилась новая
663 огромная геологическая сила на поверхности нашей планеты.

ОЧЕРК ШЕСТОИ.

ХИМИЧЕСКИЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ.

1. Радиоактивные ряды радия, тория и актиния.

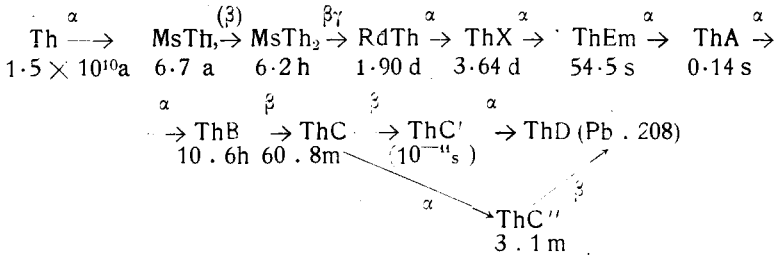
Сильно радиоактивные элементы являются такими химическими элементами, атомы которых непрерывно разбиваются, испуская энергетические излучения и образуя новые атомы, новые химические элементы.

Ход этого процесса совершенно независим от форм энергии, от сил Природы, нам известных.

Изучая его, можно установить генеалогию новых образовавшихся элементов, так как, разбиваясь, радиоактивные атомы дают начало новым элементам, имеющим свою совершенно отличную индивидуальность.

Нам известны три ряда такого распада, обнимающие более сорока химических элементов и происходящие из двух давно известных элементов — урана и тория.

Это следующие ряды: ¹



¹ В этой таблице буквы под элементами обозначают: а—года, d — дни, h—часы, m — минуты, s — секунды. Цифры при них определяют продолжительность превращения половины массы элемента в новое тело, α, β, γ — излучения.

что выход заряженного двумя положительными зарядами атома гелия и заряженного одним отрицательным зарядом электрона происходит из ядра исходного атома и связан с его разрушением.

Выделение γ излучений не сопровождается образованием нового элемента (нового, отличного от старого, по строению и свойствам атома). Оно почти всегда сопровождает выделение электрона. В последнее время Коваржик указал, что энергия, связанная с таким выделением, отвечает выделению одной кванты. 664

Выделяемые при этом γ -излучения являются излучениями с наименьшей известной длиной волны. Такие наиболее «жесткие» — известные γ -лучи до сих пор ни в каких других процессах природы ни в наших опытах не наблюдались.

Не ясно, возможно ли подойти к таким γ -лучам обычными приемами их получения без одновременно идущего разрушения ядра атома.

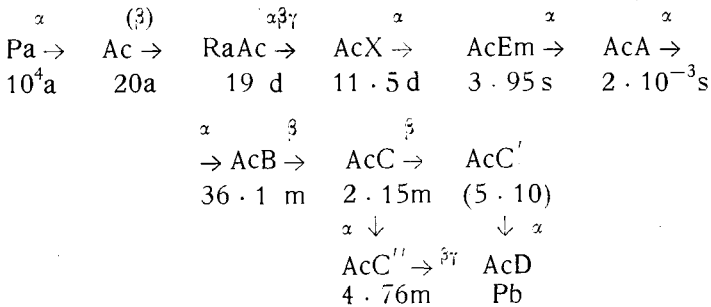
γ -лучи, помещенные в таблице, до сих пор резко отличны от самых жестких рентгеновских лучей.

Кроме этих β -и γ -излучений есть еще β -и γ -излучения, выделяющиеся одновременно с α лучами. Для γ -лучей это всегда лучи более «мягкие» и для β -лучей это лучи с меньшей скоростью передачи (более далекой от скорости света). Происхождение этих излучений выяснено работами последних лет, в значительной мере работами О. Гана и особенно Л. Мейтнер. 665

Это выделения электронов и энергии вторичные, не связанные с разрушением ядра атома; они зависят от изменения окружения радиоактивного элемента под влиянием разрушения ядра.

Они сопровождают это разрушение, но к созданию нового элемента прямого отношения не имеют.

В части уранового ряда между U_1 и Jo , несомненно, существуют пропуски. Есть еще два элемента UY и UZ , положение которых вызывает некоторые сомнения. Они, вероятно, связаны с $U II$. Но возможно, что тут есть еще неизвестные элементы. С UY , несомненно, связан, может-быть, косвенным образом протоактиний, первый устойчивый член серии актиния, несомненно, происходящий из урана, так как отношения $U : Ac$ всегда постоянны (как доказал О. Ган).



Мы таким образом видим 42 химических элемента, генетически связанных между собой. Очень возможно, что существует еще несколько элементов; соотношения между UII, UZ и UY, вероятно, более сложны, чем мы ныне это предполагаем.

Нам известны пока два элемента, положение которых не ясно:

UY — 25 h — изотоп тория
 UZ — 6,7 h — » полония.

Большинство элементов существует в этих рядах лишь очень короткое время. Однако, это существование далеко не безразлично с точки зрения геохимических явлений, особенно, когда, как мы увидим, преходящие тела выделяются в газообразном состоянии, как, например:

RaEm	3,85 d	}	изотопы № 86.
ThEm	54,5 s		
AcEm	3,92 s		

Некоторые более устойчивые тела существуют годы, тысячи, миллионы лет. Их значение в геохимических процестах несомненно: это (таблица XIX).

ТАБЛИЦА XIX.

	Изотопы.	Атомные числа.
UI	$4,5 \times 10^9$ лет Уран	92
UII	2×10^6 лет Уран	92
Jo	10^6 лет Торий	90
Ra	$1,6 \times 10^3$ лет Радий	88
RaG Свинец	82
Pa	10^4 лет Протактиний	91
AcD Свинец	82
ThI	5×10^{10} лет Торий	90
ThD Свинец	82

Для RaG, AcD и ThD долговечность, вероятно, того же порядка, а, может быть, бóльшего, чем у тория и урана.

Таким образом, с химической точки зрения в этих рядах элементов мы в настоящее время можем отличать 5 химически различных элементов U, Th, Pb, Pa и Ra, встреченных в значительных массах. Существует еще 1) актиний (№ 89), долговечность которого гораздо мёньшая, она достигает приблизительно 20 лет; более устойчивые изотопы неизвестны, 2) газы — нитон (радон) и его изотопы (№ 86) — совершенно эфемерны и 3) столь же эфемерны изотопы таллия и висмута.

С этими радиоактивными элементами генетически связан еще один элемент. Это газ гелий, непрерывно образующийся в течение радиохимических превращений. Лучи α представляют атомы гелия, обладающие двумя положительными зарядами. Эти атомы быстро теряют или компенсируют свои положительные заряды и превращаются в нейтральные атомы, представляющие обычные атомы гелия.

Очень возможно, что подобное же генетическое отношение существует между некоторыми атомами водорода и радиоактивными элементами. Лучи α для RaC (согласно Е. Марсдену и В. Лантеберри), RaE и RaA (согласно Е. Рёзерфорду) состоят частью из атомов (положительно заряженных) водорода.

666.

Все эти генетически связанные химические элементы более или менее долго встречаются не только в тех же месторождениях, но и в тех же минералах.

Таким образом, с точки зрения химических реакций, все урановые минералы содержат U, Jo (= Th), Po, Ra, He, Pb, Ac, Em и, может-быть, H, и все минералы тория содержат Th, He, Pb и Em.

Их количество в этих минералах связано с их долговечностью. Можно его теоретически определить, — эти определения вполне соответствуют наблюдаемым фактам.

Древние минералы, образовавшиеся в отдаленном прошлом, порядка долговечности атомов урана и тория ($4,5 \times 10^9$ лет для первых и $1,5 \times 10^{10}$ лет для вторых), могут содержать максимальные количества этих тел, соответствующие их радиоактивным равновесиям.

Так, например, максимальное количество Ra в уране составляют $3,4 \times 10^{-5}$ % массы урана, ибо если Pa непрерывно

образуется из атомов иония, происходящих из U II и т. д., — он в свою очередь разлагается, давая эманацию. $3,4 \times 10^{-5} \%$ Ra в уране соответствуют равновесию этих двух явлений: образованию и разрушению радия.

667 Согласно Е. Рёзерфорду, наибольшие количества радиоактивных элементов, могущих находиться в древних минералах, выражаются в следующих весовых процентах (таблица XX):

ТАБЛИЦА XX.

Урановый ряд:		Ториевый ряд:	
U II	$1,96 \times 10^{-2}$	MsTh I	$4,2 \times 10^{-8}$
U Y	8×10^{-11}	MsTh II	$5,2 \times 10^{-12}$
U X	$1,3 \times 10^{-9}$	RaTh	$1,5 \times 10^{-8}$
Jo	$3,9 \times 10^{-4}$	Th X	$7,4 \times 10^{-11}$
Ra	$3,4 \times 10^{-5}$	Th Em	$1,2 \times 10^{-14}$
Nt	5×10^{-10}	Th A	$3,1 \times 10^{-17}$
Ra A	$3,1 \times 10^{-13}$	Th B	$8,5 \times 10^{-12}$
Ra B	$2,7 \times 10^{-12}$	Th C I	$7,9 \times 10^{-13}$
Ra C'	$2,0 \times 10^{-12}$	Pb T = Th D	$1,2 \times 10^{-14}$
Ra D	$8,6 \times 10^{-7}$		
Ra E	$7,1 \times 10^{-7}$		
Ra F (Pb)	$1,9 \times 10^{-8}$		

Эти отношения, установленные путем вычисления, часто наблюдаются в земных минералах. Они с очевидностью показывают порядок величины их возраста: они существуют в том состоянии, в каком мы их теперь наблюдаем, по меньшей мере десятки миллионов лет.

В каждой урановой массе находятся еще элементы актинового ряда.

669 Их количества менее значительны, ибо 97% атомов U II падают в ряд разложения Ra и только 3% — в ряд актиния. Самый важный элемент актинового ряда — протактиний — составляет не больше $7,2 \times 10^{-6} \%$ всей массы урана.

670 Минералы изменяются, когда переходят из одной термодинамической оболочки в другую и даже когда они находятся в разных и изменчивых условиях в той же оболочке. Начинаются самопроизвольные миграции их атомов. Сила, которая возбуждает это движение, не космическая, а междуатомная.

Химические свойства новых элементов, образовавшихся в результате изменения старых, так же как само это изменение, являются одной из причин различных новых химических реакций, совершающихся в этих минералах, когда последние находятся в устойчивом состоянии в их среде. Химические свойства этих новых атомов очень отличаются от свойств элементов, из которых они происходят, они входят в новые химические циклы и отделяются от атомов, с которыми были генетически связаны.

Так, атомы Ra, Pb, Io образуют новые соединения и отделяются от урана, первые два и от тория. Ионий — изотоп тория и отвечающая ему часть вещества урановых минералов оказываются резко отличными по химическим свойствам. Они попадают в геохимические циклы тория.

Очень интересен и важен с точки зрения теории факт, что количества (в процентах) элементов, образовавшихся из урана и тория, сконцентрированные не в урановых (и не в ториевых) минералах, всегда меньше, чем их проценты в радиоактивных равновесиях, за исключением нейтральных атомов гелия.

Перед нами открывается совершенно неожиданная и никем неразгаданная картина окружающего нас вещества. Оно мозаично по времени. Часть вещества находится в нерушимом покое в своих системах атомов за все геологическое время — $p \times 10^9$ лет. Другая достигла нерушимости или подходит к ней — нерушимости в смысле радиоактивных равновесий — (столько атомов создается, сколько разрушается), это древние радиоактивные минералы. Третья находится в стадии неустойчивого равновесия, правда, направленного в одну сторону (изменять направление никакими силами мы не можем). Ее изменение затухает, приближается с ходом времени к радиоактивному равновесию.

В нашем современном представлении косная материя кажется составленной из двух резко различных форм. Одна непрерывно выделяет энергию, другая кажется совершенно инертной.

С таким представлением сейчас больше логически, чем на основании эмпирического материала, не мирится человеческая мысль.

Кажется мало вероятным, чтобы это проявление атомной энергии было особенным свойством урана и тория — двух химических элементов, которые в других отношениях ничем не отличаются от простых тел. После открытия радиоактивности высказана была гипотеза (повидимому, впервые Г. Ле-Бонном), 671

что радиоактивность есть общее свойство всех химических элементов, что это общее свойство материи. Явления, установленные для урана и тория, представляют факт общего характера.

До сих пор удалось с несомненностью констатировать существование лучей β для калия и рубидия, но механизм этого излучения и его последствия нам неизвестны. Для нескольких других элементов указаны явления, которые как-будто можно удобно объяснить радиоактивным распадом (для некоторых металлов).

Все же необходимо иметь в виду, что, во-первых, до сих пор не удалось ввести рубидий и калий, геохимическое значение радиоактивного распада которых, несомненно, гораздо больше, чем распада урана и тория в виду их распространенности (особенно калия), в круг тех законностей, которые выяснены для обычных радиоактивных элементов. Едва ли, однако, можно ожидать, чтобы эти законности оказались иными.

Во-вторых, несомненно, что отрицательный результат попыток открыть распад атомов других элементов отнюдь не доказывает его отсутствия. Явление может идти в огромном масштабе, но мы его не замечаем нашими современными приемами.

Такое состояние знаний вызвало к жизни другую гипотезу, наиболее ярко выраженную недавно (1923) Рёзерфордом, который допускает возможность, что все другие элементы, кроме радиоактивных, представляют устойчивый остаток от распада исчезнувших элементов. Наши радиоактивные элементы урано-ториевого рядов тоже исчезнут, оставив свинец.

Оба представления приводят к большим и противоположным картинам Космоса, любопытным образом связанным с очень старинными исканиями человечества. В новизне их слышится глубокая старина.

Взгляд, высказанный Рёзерфордом, приводит к представлению, близкому к тому, который вытекает из учения об энтропии — о конце мира (стр. 227). Химические элементы приходят к неизбежному установлению неизменного состояния атомов.

Разложение всех атомов — идея Ле-Бона — неизбежно вызывает искание обратного процесса, их где-то идущего синтеза. С этой точки зрения эта идея научно более плодотворна, так как будит мысль к исканию. Нернст и Джинс дали яркую картину возможных областей, где этот синтез может иметь место. Сейчас на научном горизонте появились явления,

которые заставляют думать, что существуют новые области атомных явлений, связанные с синтезом или с распадом 679
 особых атомов; космические области (звездные миры) должны быть особыми областями энергии. Отсюда, может-быть, идут γ -излучения, открытые Гессом — «проникающие лучи», — постоянно охватывающие нашу планету и несравненно более 680
 могучие, чем самые жесткие лучи у наших радиоактивных веществ.

Мы приближаемся здесь к новой области природы.

Здесь, может-быть, мы подойдем к решению той загадки, какую представляет сейчас причина радиоактивного распада.

Причина разложения атома нам не известна. Ее искали в действии внешней энергии, но все усилия, сделанные для изменения хода этого процесса какой-нибудь нам знакомой формой энергии, оставались до сих пор тщетными. Мы должны ее искать либо в особом строении атомов радиоактивных тел, либо в неизвестных до сих пор формах энергии. ПЕРРЕН недавно 681
 указал на допустимую для этого форму энергии в возможном существовании очень проникающих излучений, которых надо искать во внутренности земли.

Когда в геологических объяснениях прибегают к внутренности земли, это обыкновенно означает, что наших знаний не хватает для точного и определенного ответа, для объяснения явления. Однако, внутренность земли существует, и возможно, что она будет проявляться в явлениях, которые можно наблюдать на поверхности. Гипотеза ПЕРРЕНА, опирающаяся на косвенные указания, таким образом допустима и вполне законна. Но проверка ее привела к отрицательным результатам. Открытые Гессом проникающие излучения идут сверху 682
 и недостаточны для того, чтобы производить распад атомов.

2. Радиоактивные химические элементы в земной коре.

Геохимическая история урана и тория при всей ее неполноте опирается уже на достаточное количество прочно установленных научных фактов.

Масса — вес — этих элементов, существующих в земной коре известна, быть-может, с большей точностью, чем вес многих других простых тел, более распространенных, ибо мы в радиоактивности имеем верный и могущественный способ устанавливать их присутствие и измерять их массы даже в состоянии следов.

Уран и торий принадлежат к пятой декаде (таблица VI). Они образуют $n \times 10^{-3} - n \times 10^{-2}$ ‰ всей массы земной коры. Количества материи, им соответствующие, принадлежат к порядку $10^{14} - 10^{15}$ метр. тонн. Торий более распространен, чем уран.

Наиболее характерным фактом является их всеобщее рассеяние. Вероятно, не существует земного вещества, в котором не было бы урана и тория и их продуктов разложения.

Уран находится во всех земных породах, в большем количестве в кислых породах, в меньшем — в основных.

683 Согласно А. Хольмсу, содержание урана в различных породах следующее:

Породы вулканические, кислые	$9,1 \times 10^{-4}$ ‰
» плутонические	8×10^{-4} ‰
» основные вулканические	$3,2 \times 10^{-4}$ ‰
» осадочные глинистые	$4,3 \times 10^{-4}$ ‰
» известняки	$2,6 \times 10^{-4}$ ‰

Средние числа, данные А. Хольмсом для кислых пород, видимо, слишком низки, так как он исключил из своих вычислений все породы более богатые радием. Мы имеем точные 684 определения, дающие гораздо большие количества урана. Так, в кислых породах Симплон количество урана колеблется между 685 $2,2 \times 10^{-3}$ и $2,7 \times 10^{-3}$ ‰. Д ж о л и нашел еще большие количества в вулканических породах Везувия (до $3,7 \times 10^{-3}$ ‰ U). 686

Все эти определения урана были сделаны с помощью радио-химических методов; определяли количество эманации радия. Несколько чисто химических определений, которые, несомненно, ни более точны ни более достоверны, дают числа такого же 687 порядка.

Но уран не только рассеян в породах, он также находится во всех минералах. Так, например, Стретт определил 688 с помощью радио-химических способов, следующие количества урана:

Галенит из Кумберланда	$0,8 \times 10^{-6}$ ‰ U
Цинковая обманка из Денби	$5,7 \times 10^{-5}$ ‰ U
Касситерит из Сент-Остель	$2,9 \times 10^{-4}$ ‰ U

Ему удалось установить существование урана во всех чрезвычайно разнообразных минералах, не входящих в строение изверженных пород, в антимонитах, в борнитах, в целестинах, в кальцитах и т. д.

Существование урана в живом веществе до сих пор не принимается во внимание. Наблюдения над живыми организмами приводят к неясным результатам. Однако, в золе растений уран, несомненно, открывается. 689

Атомы урана продолжают разлагаться даже в этом состоянии крайнего рассеяния. Мы поэтому всюду находим следы других радиоактивных элементов, сопровождающих его в еще меньших количествах. Зная закон распада урана, мы можем вычислить их количество.

Очень характерно, что в горных породах, содержащих количества урана, достигающие $3,7 \times 10^{-3}$ ‰ U, нам неизвестен никакой минерал урана, никакое урановое ювенильное соединение, входящее как таковое в их состав. Не менее характерно и то, что его не находят и в состоянии изоморфных смесей ни в каких порообразующих минералах. Лишь иногда он встречается в таких минералах, богатых торием — в монацитах, ксенотимах, торинитах — и, быть-может, в некоторых литинистых слюдах в больших количествах, чем его рассеяние в породах, но эти концентрации не могут объяснить его нахождения в таком количестве в форме рассеяния в изверженных породах. 690

Мы должны поэтому предполагать, что он там находится в формах, не связанных с химическими реакциями, что он там рассеян в атомах, более или менее свободных, проникающих всю земную материю. 691

Распределение атомов тория в земной коре иное.

Их рассеяние в веществе коры — существует. Так, торий находится во всех изверженных, метаморфических и осадочных породах. Количества его большие, чем количества урана. Для изверженных пород Джоли дает $2,6 \times 10^{-3}$ ‰ Th. 692 По Г. Блану, количество его в кислых породах окрестностей Рима еще больше — $8,28 \times 10^{-3}$ — $1,45 \times 10^{-2}$ ‰. Число А. Хольмса для кислых изверженных пород близко к числу Джоли ($2,9 \times 10^{-3}$ ‰). 693 694

Новые определения урана и тория для базальтов дали в среднем, по Джоли (1925): 695

U	$3,4 \times 10^{-8}$ ‰
Th	$7,7 \times 10^{-6}$ ‰

Для тория имеются не только радиохимические, но и химические определения, дающие числа того же порядка.

Чрезвычайно характерно резкое, по сравнению с ураном, обогащение торием осадочных пород и почв, где его количество не меньше, чем в кислых массивных породах.

В первичных массивных породах его нахождение резко иное, чем урановое; в отличие от урана среди породообразующих минералов (например, монацитов или ортитов) наблюдаются ториевые минералы и его изоморфные подмеси (стр. 251). В горных породах не существует резкого преобладания рассеяния тория, наблюдаемого для урана.

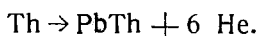
Но очень большая часть тория, несомненно, находится в рассеянии, особенно в минералах первичных, и в продуктах выветривания. Рассеяние его гораздо меньше в телах, выделяющихся из растворов, простых или гидротермальных. Повидимому, в рассеяниях уран преобладает над торием. Едва ли это может объясняться большей чувствительностью методов исследования для продуктов распада Ra, чем Th.

Как увидим, торий не переходит в водные растворы и концентрируется в биосфере в нерастворимых, частью детритовых, остатках разрушения его более первичных находений и в таких же новообразованиях.

Распределение и концентрация атомов урана и тория в земной коре и даже во всей нашей планете имеет особое значение, не существующее для других химических элементов. Ибо уран и торий переходят в конце концов в свинец и гелий, накапливающиеся в земной коре при исчезании урана и тория. При этом переходе постоянно выделяется тепло, имеющее, как мы увидим (стр. 276), первостепенное, решающее значение в тепловом режиме земной коры.

Свинец образуется из тория относительно быстро через 8,6 лет и несравненно более медленно из урана: считая от III—его атомы дают свинец больше чем через 100 000 лет для главной их части и через десятки тысяч лет для меньшей части (актиниевого ряда). Эта разница вызвана тем, что при этом переходе в урановом ряде происходит образование долголетних атомов иония и радия, с одной стороны, и протактиния, с другой. Идет задержка в образовании свинца.

Можно выразить происходящую реакцию следующими уравнениями:



Надо иметь в виду, что остановка радиоактивного распада на ториевом свинце для тория не может считаться доказанной. Возможно, что ториевый свинец распадается дальше, может-быть, переходит в изотоп висмута.

696

Как бы то ни было, эти два явления — образование свинца и выделение тепла — заставляют обращать внимание на концентрации урана и тория в разных местах земной коры, с одной стороны, и, во-вторых, на их распределение на нашей планете в связи с глубиной их нахождения.

Очевидно, в том установившемся динамическом равновесии, какое представляет сейчас земная кора, большие скопления урана и тория не могут иметь места, так как иначе будет идти нарушение равновесия, ибо чем больше атомов урана и тория скопляется в одном и том же участке земной коры, тем большим нарушителем равновесия они явятся. Мы увидим, что это резко скажется в характере их руд (их скоплений) (стр. 256 сл.). Оно же обуславливает значение рассеяния этих элементов, которое так бросается в глаза в их истории.

Еще большее значение имеет уменьшение их количества с глубиной; это явление становится ясным, с одной стороны, благодаря определению его содержания в глубинных, основных, породах, а с другой стороны, благодаря притоку тепла, которое сообщают земной коре массы этих радиоактивных элементов. Сравнение этого тепла с теплом, наблюдаемым на нашей планете, сразу указывает на его исключительное значение во всех геологических процессах.

Совершенно несомненно, что наблюдаемый тепловой режим нашей планеты может существовать лишь в том случае, когда количество урана и тория быстро падает уже на небольшом расстоянии от земной поверхности.

И действительно, наблюдения над нахождением U и Th в кислых (более поверхностных) массивных породах и в породах глубинных (основных и ультраосновных) указывают, что уменьшение содержания урана с глубиной в пределах верхней земной коры достигает сотен тысяч раз, а тория немного меньше — десятков тысяч раз (стр. 241). Более основные (перидотитовые) породы дают все более уменьшающиеся количества урана и тория.

В глубоких частях земной коры основные породы преобладают. Они приближаются к земной поверхности под океаническими бассейнами. Очевидно, в связи с этим существует большая

концентрация урана и тория в поверхностных участках земной коры и в толщах суши, чем в глубинных ее областях и в областях, подходящих к океанам.

С этим связано и разное количество тепла, постоянно ими выделяемое. Его больше в областях, близких к земной поверхности, больше в толщах суши, чем в океанах и в подстилающих их породах.

Состояние ториевых минералов меняется. Ториевые минералы и ториевые изоморфные смеси, известные в кислых, главным образом, гранитных — породах, исчезают в основных породах. Торий в них находится только в рассеянии.

Неизвестны и месторождения минералов урана, связанные с этими породами.

Для минералов урана и тория все нам известные их скопления соответствуют кислым породам, особенно гранитным.

Но эта слабая концентрация атомов урана и тория в основных породах, как она ни мала, все же предоставляет этим породам огромные количества энергии. Джоли показал, что эти количества достаточны для того, чтобы в течение $2,5 \times 10^7$ лет расплавить всю толщу базальта, в которой они рассеяны. Мы увидим ниже, какие из этого проистекают следствия (стр. 275).

Исследование теплового режима земли показывает с несомненностью, что и такие основные породы не могут идти глубоко внутрь планеты. Ниже их должны лежать породы, еще более бедные ураном и торием. Тепло, находящееся в земных глубинах, много меньше того, которое в них существовало бы, если бы количество атомов урана и тория отвечало их наблюдаемому количеству в ультраосновных породах.

Итак, уран и торий — даже в рассеяниях — могут концентрироваться только в поверхностной части планеты, в тонкой наружной ее пленке. Чем глубже изучают свойства земли в связи с тепловыми явлениями, вызываемыми радиоактивными элементами, тем мощность этой пленки уменьшается. Вначале Стретт (1906) и А. Гольмс (1911) допускали, что она едва ли много превышает 16 километров. Необходимость принимать во внимание тепло, испускаемое атомами калия и рубидия, уменьшает (А. Гольмс, 1926) мощность этой оболочки до 6 — 8 километров.

Причина этого явления является загадкой. Раньше в эпоху господства представлений об инертности химических элементов казалось естественным (как это, например, и указывал Эли де Бомон), что уран, как наиболее тяжелый элемент, собирается к центру планеты. В связи с выяснением активности элементов появились новые теории, так же как и первые связанные с геогенетическими представлениями. Большого значения они пока не имеют.

Сосредоточение урана и радия (и калия) в поверхностном слое планеты мы должны принять, как факт, остающийся загадкой. Может-быть, можно считать вероятным, что он связан с космическими причинами и будет понят, когда начнут выясняться законности распределения атомов в космическом пространстве. Есть уже ряд указаний на своеобразное химическое строение наружных оболочек небесных светил. В распределении урана — тория — калия (должно - быть, рубидия) на земле мы видим еще одно новое, сюда относящееся, явление.

Весьма вероятно, что распространение урана и тория в земной коре находится в связи с историей в ней свинца.

Тут мы работаем еще в очень мало изученной области. Однако, факт превращения обоих изученных рядов радиоактивных элементов в изотопы свинца существует, и с ним уже сейчас приходится считаться.

Первый вопрос, который в связи с этим стоит перед нами и который должен быть прежде всего решен, касается происхождения нашего обычного свинца.

Может ли наш свинец с атомным весом 207,2 рассматриваться как смесь уранового, ториевого, актиниевого свинцов (атомные веса — 206,0, 208,0, 210,0)? Прямых доказательств такого его строения нет. Приходится идти косвенным путем.

Прежде всего надо подчеркнуть, что такое представление приводит нас к числовым соотношениям между количествами тория и урана в земной коре, не противоречащим действительности.

Исходя из представления об изотопах свинца и допуская, что обыкновенный свинец состоит из смеси ториевого свинца (ThD) и уранового свинца (RaE), можно вычислить отношение U/Th , определяющее свойства обычного свинца. Допустимо думать, что это отношение будет соответствовать отношению U/Th в земной коре. Смешение обоих свинцов должно было

происходить еще в магматической фазе до образования горных пород, т.е. до застывания магмы.

706 В горных породах такой свинец находится в рассеянии; новые определения дают для него числа $2 \times 10^{-3}\%$ для кислых пород. Все месторождения свинцовых руд — его скопления — связаны в конечном итоге с магмами.

707 Обращаясь к числам, мы видим следующее: Хенигшмидт нашел, что атомный вес свинца ториянитов из Цейлона равен 207,2, т.е. равен атомному весу обыкновенного свинца (урановый свинец 206,0, ториевый свинец 208,0). Этот свинец образуется из 68,9% Th и 11% U, содержащихся в торияните. Он содержит еще RaD (долговечность 16 лет), третий изотоп свинца. Приблизительно через 200 лет этого изотопа уже в нем не будет, и свинец ториянита данного строения не будет отличаться от 708 обыкновенного свинца. Согласно поставленной гипотезе, отношения в природе — в земной коре — тория и урана должны в таком случае соответствовать

709

$$\text{Th} : \text{U} = 6,27 : 1.$$

Торий действительно более распространен, чем уран, и порядок различия, здесь найденный, вполне допустим. Но все же это не решает общего вопроса. Может ли обычный свинец, всюду находимый с одним и тем же атомным весом в 207,2, рассматриваться как смесь двух свинцов — уранового 206,0 710 и ториевого 208,0? Есть ли, другими словами, в земной коре, в истории зарождающихся изотопов, явления, которые могут привести к таким смешениям?

Вполне определенно ответить на этот вопрос мы не можем.

Загадка изотопов до сих пор не разгадана. За последние годы было обращено усиленное внимание ученых на ее разрешение. 711 Удалось, с одной стороны, выяснить, что огромное количество химических элементов состоит из смесей изотопов и что, с другой стороны, атомные веса химических элементов, определенные в минералах самого разнообразного земного парагенезиса и самых различных метеоритов, совершенно одинаковы. Это указывает на существование каких-то процессов, связанных с 712 чрезвычайным смешением изотопов, процессов, независимых даже от земных условий. Окончательно тождественность атомного веса во всех случаях не может считаться доказанной, так как до сих пор нет определения атомного веса элементов

живого вещества; есть данные, заставляющие думать, что элементы эти могут отличаться от элементов косной материи. Пока возможно думать, что жизнь является силой, их разделяющей. Оставляя в стороне этот частный случай, общий результат несомненен: ни в косной материи ни в условиях образования метеоритов изотопы не разделяются. 713

Попытки объяснить такое чрезвычайное смещение были совершенно неудачны. 714

Мы просто мало имеем точных эмпирических данных, сюда относящихся.

До сих пор не изучены формы, в которых выделяются вновь образованные атомы. Для свинца мы имеем указания, заставляющие думать, что это — атомы, находящиеся в свободном состоянии. 715

Мы находимся здесь среди неведомой нам области новых явлений.

3. Несколько замечаний о минералах урана и тория.

Минералы урана и тория принадлежат к одной из химически наименее известных групп. Их состав иногда очень сложен, и анализы их представляют значительные и почти непреодолимые в настоящее время трудности. Вместе с тем химия урана и тория не объясняет в должной мере их природных соединений. 716

Первичные минералы — ювенильные и фреатические — образуются при совершенно иных условиях, чем те, в каких получают в лабораториях соединения урана и тория.

Так, окись тория в термодинамических условиях наших лабораторий при обыкновенном давлении и не слишком высоких температурах является основным; она дает соли, например, ториевые сульфаты и нитраты. Однако, в минералах окись тория — ThO_2 — аналогична SiO_2 , ZrO_2 или TiO_2 ; это не основание, но ангидрид. Ее сложные соединения не являются ториевыми солями, но солями сложных ангидридов. Повидимому, химические функции окиси тория различны в зависимости от термодинамических полей.

Еще большие осложнения являет уран. Все его соединения, воспроизведенные и изученные в наших лабораторных синтезах, резко отличаются от большинства урановых минералов, от всех его ювенильных природных тел. Это становится очевидным при

сравнении их физических свойств. Урановые соли наших синтезов — кристаллы, желтые или зеленые, прозрачные со стеклянным блеском. Подобные минералы существуют в природе, но самые важные и первичные минералы урана совершенно иные, почти неизвестные в наших лабораториях. Они красно-коричневатые, непрозрачные, с металлическим или полуметаллическим блеском, очень темным, почти черным. Они, повидимому, образовались при высокой температуре в среде, бедной кислородом. Их химическое строение кажется очень отличным от строения урановых желтых и зеленых солей. Соли лабораторий и часть природных продуктов являются или солями уранила, где комплекс (UO_2) играет роль основания, или солями окиси UO_3 , которая, повидимому, имеет свойства ангидрида. Первичные минералы могут рассматриваться как соли комплексов pUO_3qUO_2 или окиси UO_2 и ее сложных ангидридов с TiO_2 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , строение и химические свойства которых неизвестны. Для UO_2 существует при этих условиях аналогия с SiO_2 , CeO_2 , ThO_2 . Окись урана не только имеет свойства кислого ангидрида, но ее соединения находятся в металлическом состоянии; они встречаются в жилах с другими металлическими телами, как, например, с сульфидами, с сульфобазами и сульфосолями тяжелых металлов. Таким образом, в различных термодинамических средах совершается глубокое изменение строения урановых тел, ибо переход в металлическое состояние связан, по всей вероятности, с особым распределением электронов в атомных сетках. Присутствие природного тела, в металлическом или диэлектрическом состояниях всегда должно быть отличаемо; это факт большой важности в его истории.

Мы лишь очень поверхностно знаем минералы урана и тория. Их число довольно значительно. Мы в настоящее время знаем около 100 урановых минералов. Но с некоторой достоверностью можно дать химическую формулу едва ли даже пятой их части. Наиболее важные минералы урана, как, например, группа урановой смоляной руды, из которой добыт впервые радий, едва начинает выясняться и отчетливо обозначаться. Здесь под одним именем до сих пор соединяются тела различного химического строения.

То же самое относится и к ториевым минералам. Из них было описано около сорока, но можно сказать, что точный их состав совершенно неизвестен, так как указываемые для них

формулы никогда не соответствуют анализам. Быть-может, некоторые изоморфные смеси, бедные ThO_2 — как монациты — фосфорно-цериевые и фосфорно-лантановые ангидриды содержат в твердом растворе соединение ThSiO_4 единственное ториевое природное соединение, формула которого точно установлена.

Это состояние наших химических и минералогических знаний не должно быть упускаемо из виду при всем нашем дальнейшем изложении.

Очень характерно, что эти соединения всегда окислены. Мы не знаем ни одного минерала, который бы принадлежал к другой химической группе. Это всегда не летучие соединения. Ювенильные минералы очень стойки при высоких температурах. 718

4. Торий в земной коре.

Бедность или отсутствие вадозных минералов и нерастворимость всех природных соединений в природных водах на поверхности и близ земной поверхности характеризуют всю геохимическую историю тория.

Его присутствие в воде Океана требует новых определений. 719
В термах встречаются лишь его следы.

В некоторых термах — минеральных источниках — тория нет. Для вадозных вод нет указаний на нахождение тория. 720
Известные нам фреатические, содержащие торий, минералы являются лишь продуктами метаморфизации ювенильных минералов.

Торий сосредоточивается в кислых породах (стр. 243) в трех различных формах. Во-первых, он находится в виде изоморфных подмесей первичных порообразующих минералов, главным образом, в минералах, богатых редкими землями, особенно цериевыми. Таковы особенно две группы: церофосфорные ангидриды — монациты и ксенотиты и церосиликаты каолинового строения, принадлежащие к группе эпидота (ортиты). 721
Это всегда минералы первых выделений в магме, рассеянные после ее затвердевания в виде отдельных кристаллов, обычно отвечающие небольшим долям процента общей массы пород. 722
Монациты и ортиты находятся в различных гранитных массивах; возможно, что они друг друга в них заменяют.

Во-вторых, торий находится во всех минералах пород в незначительных следах, он в них рассеян, не давая, однако, концентраций и не образуя видимых соединений. Это рассеяние, повидимому, однородное. Невозможно сказать, находится ли в нем торий в состоянии окиси или в состоянии свободных атомов. Большая часть массы тория земной коры находится в этом состоянии, часто крайнего рассеяния (стр. 246). Это единственная форма, в которой он встречается в изверженных породах — в средних или в основных.

Наконец, он находится в пегматитах кислых пород. Существует, повидимому, два очень различных типа таких пегматитов. В одних, самых обычных, минералы урана не существуют или они представлены титано-ниобо- (или тантало-) уранатами, сравнительно бедными ураном, в других концентрируются минералы, богатые торием и ураном. В первых торий часто находится в изоморфной смеси в монацитах и в ортитах, во вторых он концентрируется в урано-ториевых минералах, дающих два различных ряда, ториевый и урановый. Это силикаты, титано-ниобаты и танталаты, окиси. Окись тория ThO_2 (ангидрид — стр. 249) дает обычно изоморфные смеси с ей подобными другими окисями. Все эти соединения устойчивы в биосфере и не изменяются в ней. Однако, в метаморфических областях они изменяются путем гидратации; при этом, однако, весь торий остается в минерале, даже если теряется часть урана; измененные минералы довольно легко разрушаются механическими агентами, и уран уносится водой. Торий сосредоточивается в нерастворимых продуктах. В точности неизвестно, являются ли ториевые водные силикаты, образующиеся при этих условиях, вадозными минералами или же продуктами метаморфизма в верхних метаморфических областях. Они часто коллоидальны.

Единственные известные концентрации тория в биосфере — это механические концентрации, россыпи, образовавшиеся благодаря большей механической и химической устойчивости содержащих торий минералов, по сравнению с другими составными частями пород.

Первичные минералы гранитных массивов, богатые редкими землями — монациты и ортиты, — в которых сосредоточивается торий, очень устойчивы в биосфере. При разрушении гранитных массивов они собираются в детрите этих пород,

в остатках их массивов, и с течением времени в них концентрируются. Таким путем образуются монацитовые и ортитовые россыпи, из которых человек в настоящее время пользуется лишь первыми.

724

Говоря о гранитных массивах, я не делаю различия между ними и гнейсами, из них происходящими, ибо в метаморфических условиях их образования монациты гранитов не подвергаются изменению.

В течение геологического времени разрушаются огромные гранитные массивы, и в их остатках сосредоточиваются большие количества монацита, которые первично были рассеяны в породе или сосредоточены в пегматитах. Количество монацитов, повидимому, больше в массивах, богатых пегматитами.

725

Возможно, что эти россыпи были еще обогащены монацитом путем позднейших переработок при действии текущих вод, постепенно уносящих все мелкие и растворимые частицы. Такие богатые монацитом, вторично обогащенные действием морских волн и прибоев, россыпи встречаются на берегах океана в Бразилии от Маранкао, в Багии, до Рио-де-Жанейро.

Эти морские россыпи иногда очень богаты монацитом, содержат его более 75%. Они образовались вследствие разрушения в течение геологического времени огромных гранитных массивов. Они часто содержат несколько процентов тория. Они играют роль концентраторов активной атомной энергии.

В чистых монацитах количество ThO_2 редко превышает 5% (обыкновенно не больше 10%), в ортитах редко находят несколько выше 5% ThO_2 ; для них богатыми являются тела с 3% ThO_2 . Россыпи, образовавшиеся из одного и того же массива, содержат до 2×10^8 метрических тонн монацита и, быть-может, больше, как, например, россыпи Траванкор в Индии. Россыпи, богатые монацитом (м.-б., ортитом?), являются самыми богатыми концентрациями тория. Эта концентрация не химическое явление, это явление геологическое, представляющее результат особых свойств первичных соединений тория, их физической и химической устойчивости при выветривании пород, содержащих их в отдельных редких минералах. Великое геологическое явление — выветривание гранитов — происходящее непрерывно и существовавшее во все геологические времена, вызывает эту концентрацию тория. Очевидно, что мы тут имеем

почти неиссякаемый источник этого минерала (с точки зрения практических интересов человечества).

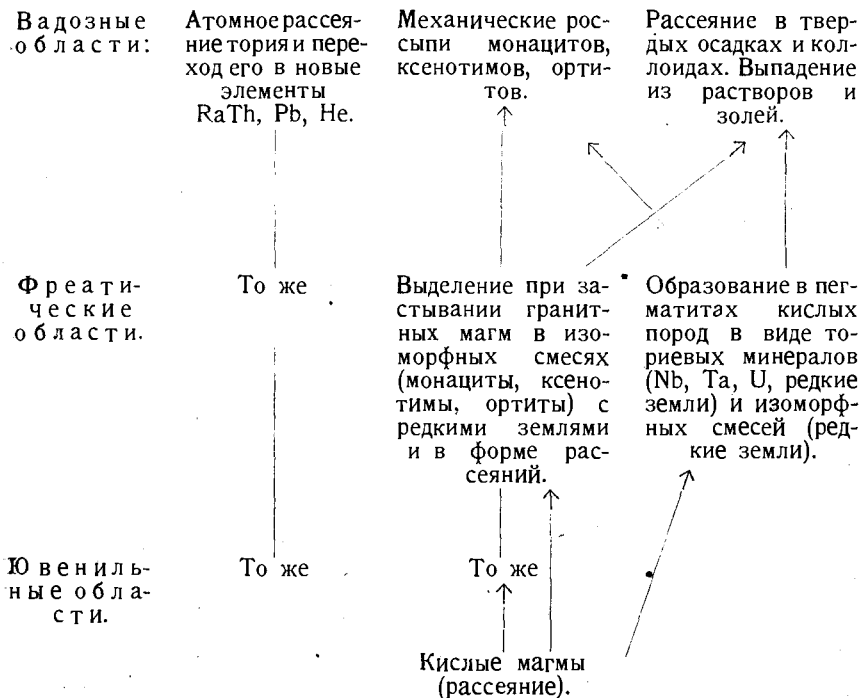
Россыпи, сосредоточенные в Бразилии и в Индии, являются главным источником продажного тория. Россыпи Северной Америки, Колорадо, содержат не менее значительные количества тория. Они прежде разрабатывались. Экономические условия, а не исчерпание россыпей не позволяют их выработать теперь. Россыпи других стран (например, Восточной Сибири) еще не выяснены в своей благонадежности.

В геохимической истории тория эти огромные концентрации представляют лишь второстепенный эпизод. Его главная масса остается в состоянии рассеяния, вероятно, атомного.

Геохимическая история тория может быть изображена следующей схемой (таблица XXI).

ТАБЛИЦА XXI.

ИСТОРИЯ ТОРИЯ.



5. Уран в земных оболочках.

История урана совершенно иная. Ее характеризуют два главных явления: существование нескольких окисей урана, обладающих очень различными химическими свойствами, и существование многочисленных природных соединений, растворимых в воде при земных термодинамических условиях. Вместе с тем уран не дает изоморфных смесей в минералах магм и в массивных породах остается исключительно в рассеянном состоянии.

Большая часть урана, так же как и тория, находится в состоянии крайнего рассеяния.

Атомы урана проникают всю земную материя. Нам не известна форма, в которой они в ней находятся, (стр. 242). Однако, мы не видим химического процесса, могущего их сконцентрировать, кроме геологических явлений разложения и растворения горных пород, их содержащих. Осадочные породы — продукты этого разложения — менее богаты ураном. Таким образом становится очевидным, что во время их образования часть атомов этого металла была где-то сконцентрирована, что она дала соединения, даже руды (стр. 256), но большая часть атомов урана осталась в рассеянном состоянии в течение самых больших и длительных геологических превращений.

В противоположность торию уран проникает жидкие массы, природные воды и находится в растворе в каждой природной воде, впрочем, в состоянии крайнего разжижения.

Всякая природная вода радиоактивна, и эта радиоактивность в главной мере объясняется нахождением в ней атомов урана.

Так, несколько сот миллионов тонн урана находятся 727
в растворе в морской воде. 728

Не менее значительные количества урана находятся в непрерывном движении в водах источников и терм. Десятки тысяч горячих источников непрерывно выносят уран на поверхность из глубоких областей. Мы имеем лишь радиохимические определения, дающие в этом случае для урана максимальные количества, так как радиоактивность источников иногда отчасти объясняется присутствием радия, химически отличного от урана. 729
Однако, мы не знаем случая, где бы радиоактивность воды зависела от одного присутствия радия.

Один пример будет достаточен, чтобы дать нам понятие о масштабе этих явлений: радиоактивность английских терм

отвечает для миллиона литров $1,73 - 1,19$ μgr Ra. Это приблизительно соответствует $3,5 - 5 \times 10^{-40}/\%$ U, для Кингс-
 730 Уэлль $1 \times 10^{-30}/\%$.

Кажется очевидным, что массы урана, принесенные источниками и растворенные в глубинных водах, давших им начало, являются в конце концов массами гораздо более высокого порядка, чем уран океанических вод.

Несомненно, общее количество морской воды, отвечающее приблизительно половине всей воды земной коры (стр. 109), больше количества воды минеральных источников в каждый данный момент, но процент рассеянного урана в них значительно меньше, и вода эта находится в чрезвычайно слабом обмене; молекулы ее уходят и возобновляются только сверху и снизу, и атомы урана в ней находятся в медленной миграции.

Воды же минеральных источников напротив находятся в постоянном движении, скорее испаряются и приносят все новые количества атомов урана; они постоянно обновляются и в течение одного года должны приносить гораздо более значительные массы урана, чем те, которые установлены в Океане. Миграция атомов урана в термах несравненно быстрее миграции его атомов в Океане. Она в термах быстрее миграции атомов тория.

Присутствие урана во всех водах доказывает непрестанную, относительно быструю миграцию его атомов в земной коре.

Изучение его руд и месторождений подтверждает этот вывод.

6. Три типа месторождений урана и тория.

Можно отличить три типа месторождений урана, из которых каждый содержит минералы разного и очень определенного химического строения. Все эти минералы урана образуются в присутствии воды или водных паров.

Это будут: 1) Минералы пегматитовых жил кислых пород.

2) Минералы, осажденные в жилах, из гидротермальных растворов при сравнительно высоких температуре и давлении.

3) Минералы, осажденные в биосфере или близ биосферы растворами, уран содержащими, при невысокой температуре.

В первом типе — в пегматитах — урановые минералы находятся в очевидной связи с химическим составом породы; они находятся только в пегматитах, богатых редкими землями,

731 U, Nb, Ta, Th, быть-может, Ti, очень бедных Cs, Rb, Li, Be, F.

Эти пегматиты всегда соответствуют магме позднейшего затвердевания данного массива, в котором собираются его самые летучие и наиболее растворимые в воде продукты. Минералы пегматитовых жил образуются при температурах, колеблющихся приблизительно между 150 и 700° Ц., после затвердевания большой части массива; они концентрируются в узких пространствах, образовавшихся вследствие изменения объема массива. Для этих минералов характерно то, что они все образуются под влиянием пневматолитических реакций, т.е. протекающих в присутствии газообразных тел и особой кремнеземно-водной магмы. Окисленные ториевые и урановые соединения не летучи в условиях наших синтезов. Уран и торий, вероятно, и в природе приносятся не в газообразном состоянии, но в водно-кремнеземном растворе, механизм которого неизвестен. ThO_2 —одно из наиболее тугоплавких тел, какие мы знаем.

В виде минерала оно, повидимому, образуется под влиянием химических реакций из других неизвестных соединений тория. Условия этих реакций никогда не были воспроизведены в наших лабораториях, и все наши выводы основаны на наблюдениях, сделанных в земной коре, на изучении ассоциаций минералов, их парагенезиса.

В пегматитовых жилах уран всегда соединен с торием в тех же минералах. Уран никогда не дает в них соединений UO_3 или уранила—желтых или зеленых продуктов. Это кристаллические черные минералы, с металлическим или полуметаллическим блеском, черные зелено-коричневые или красно-коричневые в порошке (стр. 250). Это продукты химически очень устойчивые, неизменяемые в биосфере. Они не выветриваются. Из этого следует, что уран и торий не отделяются друг от друга из своих соединений в коре выветривания.

Однако, они очень изменяются под влиянием воды (может-быть, паров) в глубоких фреатических областях; в этом измененном виде они легко разрушаются и в биосфере.

Их химическая устойчивость, их твердость и тяжесть благоприятствуют их концентрации в россыпях, где они иногда разрабатывались, таковы, например, россыпи ториянита на Цейлоне. Однако, концентраций, сравнимых по массе с россыпями монацитов (или ортитов), не наблюдается, ибо пегматитовые жилы, содержащие уран, образуют лишь ничтожную часть гранитных массивов.

Можно в них отметить две очень отличные группы минералов, обычно находящихся в различных гранитных массивах:

1) Минералы, богатые торием и ураном.

2) Минералы, бедные торием. Это урановые минералы в собственном смысле слова.

Второй ряд соответствует урано-титанатам, урано-ниобатам или урано-танталатам, очень сложного состава неизвестного нам строения. Часто это кальциевые соли; атомы урана (и тория, если таковые существуют) входят в строение сложного ангидрида. Они часто изменены, вследствие поглощения ими воды в глубоких областях коры — процесс, шедший в первых стадиях образования пегматитовых жил.

Такие минералы становятся бледно-желтыми и зелеными, как, например, столь известный мадагаскарский минерал — бета-
 732 фит, водный урановый титанониобат — богатый кальцием. Свежий, почти безводный минерал, ему соответствующий, имеет аналогичный состав, но совершенно другие физические свойства. Это черный минерал, с полуметаллическим блеском коричнево-красноватый в порошке, менделеевит пегматитов Забайкалья
 733 в Восточной Сибири. При метаморфизации титанониобатов, повидимому, происходит глубокое изменение строения урановых соединений: окись UO_2 частью превращается в UO_3 и отчасти
 734 заменяется ураниловым основанием (см. стр. 250), после чего зеленые и желтые цвета становятся господствующими: максимальная концентрация уранов этих минералов достигает приблизительно 25% U (бетафит, менделеевит). Все другие минералы, например: самарскиты, эвксениты, и проч. дают гораздо менее значительные концентрации (до 12—13% U). Количество тория в общем меньше, до 5—6% Th (в блонстрандинах). Существуют, однако, мало известные члены этой серии, богатые торием и бедные ураном, например, некоторые из чевкинитов, эшинитов и проч., содержащих до 19—20% Th, но не более 1—2% урана.

Гораздо большая концентрация тория и урана наблюдается в другой группе природных соединений пегматитовых жил — в уранитах: это торианиты, ураниниты и т. д. Металлические окиси: ниобовая, танталовая, титановая в них довольно редки. Основания не находятся в них в достаточных количествах. Часто встречаются редкие иттровые земли (до 11—12% $[Y]_2O_3$ в клеветеитах и $[YCe]_2O_3$ в α -торианитах). Главная часть

этих минералов образована из окисей тория и урана в виде двух рядов изоморфных смесей $(Th, U) O_2$ и $pThO_2q$ (rUO_2sUO_3). Приходится, следовательно, рассматривать эти тела, как свободные ангидриды — простые $(UO_2 \cdot ThO_2)$ или сложные (rUO_2qUO_3). Их изоморфные смеси представляют господствующее соединение — растворитель минерала, в котором растворены могут быть тоже сложные ангидриды типа $pUO_2qU_2O_3$ и т. д. Обычно растворитель превышает 95% массы.

Это всегда черные кристаллические минералы с металлическим блеском; в порошке они, черные, коричневые или красно-коричневые. Эти свойства всегда характерны для урановых атомов и окисей, даже, когда они не преобладают, или для урано-ториевых комплексов. Чистый ThO_2 , полученный искусственно, прозрачен и бесцветен, но, вероятно, тождественен с природными телами, так как он кристаллизуется в той же системе — в кубах, столь характерных для торианитов (содержащих до 93% ThO_2). 735

Концентрация урана в этих минералах может превысить 72% U, в α - и β - уранониобатах, и концентрация тория достигает 93% в торианитах. 736

Эти минералы никогда не дают в земной коре больших скоплений урана и радия, ибо они обычно очень рассеяны в жилах. Ни поля таких пегматитовых жил, ни их природные обогащения — россыпи — не дают больших количеств этих минералов. Их относительно немного в богатейших, известных элювиальных россыпях Цейлона (торианиты).

В конце концов количества Ra и U в каждой пегматитовой жиле и даже в поле жил, в больших гранитных массивах невелики; количество радия редко превышает 10 граммов, что соответствует 30—40 тоннам урана; наибольшее количество урана всегда остается рассеянным в гранитной массе и не попадает в пегматиты. 737

Уран, концентрирующийся в пегматитах, представляет, таким образом, лишь очень малую долю всей его массы, заключавшейся в самой магме.

Другая довольно большая часть урана исчезает из магм до или после их затвердевания в виде водных растворов, вероятно, еще до образования пегматитов. Уран осаждается в конкреционных или в метасоматических жилах, часто вдали от гранитного массива, но всегда в генетической с ним связи; иногда эти жилы образуются на расстоянии нескольких километров

от гранитного массива, давшего им начало. Эти жилы содержат другие металлы — медь, свинец, олово, железо, тоже мигрировавшие из той же магмы; они иногда богаты соединениями серы.

В этих условиях минералы урана являются телами, богатыми ураном. Это урановые члены $(UTh)O_2$ или $pThO_2q[UO_3UO_2]$, лишенные тория или очень бедные им, иногда они кристаллические (уранониобаты). Чаще всего они осаждаются в виде коллоидальных аморфных масс, как, например, настуран, перекристаллизовывающийся во время вторичных процессов. Знаменитая иоакхимская руда (Иоакхимсталь) в Чехо-Словакии, в которой супруги Кюри нашли радий, образована из настурана, большей частью аморфного, и из другого, не изученного минерала урановой черни — «Uranschwärze» рудокопов, являющегося, по видимому, урано-уранистым сложным, может-быть, аморфным ангидридом той же группы.

Они отлагаются из горячих растворов при температурах, не превышающих $200—150^\circ$ Ц. Они очень бедны торием, нередко $1—2\%$ Th, к которому к тому же примешан его изотоп ионий.

Урановые члены $[Th, U]O_2$ резко отличаются от ториевых членов не только большей растворимостью, но также большей изменчивостью. Их неустойчивость связана с действием свободного кислорода и потому наблюдается только в биосфере. Такое изменение урановых минералов, по видимому, приурочено к наиболее глубоким слоям кислородной поверхности. Вместо соединений окиси урана уран в них дает тела с UO_3 и с уранилом (UO_2).

Настураны в верхних частях жил всюду и всегда превращаются во вторичные урановые минералы. Это изменение иногда наблюдается в жилах очень глубоко. Интенсивность процесса увеличивается по мере приближения к земной поверхности, в среде богатой свободным кислородом и органическими веществами.

Мы встречаем здесь в верхних частях жил много урановых минералов — постоянно открываются новые соли уранила или соединения, содержащие UO_3 — желтые и зеленые тела, аналогичные продуктам наших лабораторий.

Самые распространенные из них двойные соли уранила и кальция, уранила и меди, уранила и бария, тела, могущие иногда являться главной рудой урана, как, например, в Guardia, в Португалии, и в некоторых рудниках Корнваллиса — стениты, торберниты, ураносирциты.

Но, с другой стороны, встречаются арсенаты, ванадаты, карбонаты, сульфаты, силикаты уранила. Известны уже десятки разных минералов, но это, несомненно, лишь небольшая их часть. Это обширное поле для грядущих минералогических открытий.

Во всяком месторождении урана мы открываем новые минералы, и руды Ута, Колорадо, Ферганы содержат еще много сюда относящихся неизвестных тел. Проф. Скуп недавно еще доказал это для Бельгийского Конго установлением ряда новых интересных видов. Эта неустойчивость и химическая активность урана в биосфере — странный и очень интересный факт. Он, вероятно, связан с энергетическим состоянием его атомов.

Количества урана, сосредоточенные в этих месторождениях, гораздо значительнее тех, которые находятся в пегматитовых жилах. Так, в Иоахимовской жиле заключалось несколько сот тонн урана. Повидимому, новое месторождение Бельгийского Конго аналогично Иоахимовскому и включает в себе массы урана того же порядка.

Это обогащение урана, повидимому, находится в связи с уменьшением тория. Атомы тория не дают таких растворимых соединений и остаются в гранитных массивах или в их соседстве (в пегматитах), между тем как атомы урана сосредоточиваются в конкреционных жилах. Руды урана такого типа месторождений всегда бедны торием.

Вообще всякое новое растворение очищает от тория урановые руды. Образующиеся новые кристаллизации или новые гели с каждым разом содержат все меньше тория. Они от него освобождаются как, впрочем, и от всех новых химических элементов, таких как Ra, Pa, Io, Po, химические свойства которых столь отличны от урана.

В верхних частях таких жильных месторождений отлагаются новые минералы урана, которые гораздо более растворимы, чем те, какие мы встречали до сих пор. Это факт, имеющий большее значение в истории урана, так как минералы, образовавшиеся таким образом, не остаются на месте; они входят в миграцию в водных растворах и распределяются водой во всей окружающей местности. То же самое явление имеет место во время разложения пород, содержащих ураноносные жилы с ювенильными и фреатическими урановыми минералами, подвергнувшимися разложению еще в метаморфической оболочке (стр. 250).

Благодаря этому такие водные, очень разведенные растворы благоприятствуют рассеянию урана; однако, существуют некоторые физико-географические условия, при которых эти воды способствуют его концентрации — образованию вторичных урановых месторождений, самых больших из известных скоплений урана и радия. Способ образования этих скоплений, впрочем, еще не хорошо выяснен.

Мы можем лишь наблюдать конечное явление, образование на земной поверхности, в биосфере, скоплений нерастворимых или мало растворимых солей уранила различных кислот, отлагаемых вадозными водами.

Ванадаты уранила при условиях биосферы, повидимому, одни из самых устойчивых. Уран сосредоточивается в земных областях, в которых находятся окисленные ионы ванадия и урана.

Ионы урана, как мы видели, находятся во всех вадозных водах, но ионы ванадия имеют совершенно иную историю и наблюдаются в немногих местностях. Из этого следует, что история этих урановых тел зависит от истории ванадия в биосфере.

Ванадий в своих ювенильных формах выпадает в алюмосиликатах и силикатах, входя в состав их изоморфной подмеси, при чем ванадий здесь трехвалентен. В биосфере ванадий всегда пятивалентен.

Можно отметить три типа нахождения ванадиевых минералов: 1) ванадий находится в гидротермальных жилах и внесен туда обыкновенно вадозными водами; он сосредоточен вблизи поверхности, в зоне вторичного металлического обогащения; 2) он находится в асфальтах, генетически связанных с нефтями; процентное содержание его увеличивается при превращении 744 нефтей в асфальты (жильные и осадочные), и наконец 3) ванадий собирается в наземных и морских осадочных породах, в песчаниках, богатых металлами, как Cu, Zp, Ni и т. д. Это процессы, идущие при обыкновенной температуре. Очень вероятно, что большая часть этого ванадия (и это относится также и к другим металлам) происходит из живого вещества; 745 известно большое число организмов, богатых ванадием, (например, некоторые голотурии и асцидии).

В случае, когда вадозные (или иногда фреатические) воды этих ванадиевых месторождений содержат уран, образуются различные ванадаты уранила, очень изменчивые и неустойчивые

соединения. Обыкновенно это трудно растворимые двойные соли ванадатов уранила с вандатами калия, кальция, реже бария.

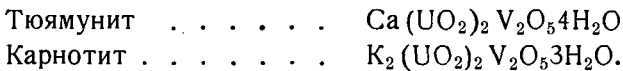
Эти минералы наблюдаются во всех типах месторождений ванадия, но главные их скопления известны среди ванадатов осадочных пород. Ванадаты уранила обычно находятся совместно с другими ванадатами, и такие месторождения урана определяются свойствами ванадия, а не урана. В этих месторождениях соли ванадия удерживают атомы урана из сильно разведенных водных растворов.

Можно различить три типа таких ванадиево-урановых месторождений, связанных между собой переходами: гидротермальный (жильный), асфальтовый и осадочный.

Жильный гидротермальный тип, вблизи поверхности, представлен тяжунитами, таковы уранило-кальциевые ванадаты в Тюя-Муюне в Фергане, откуда добыт В. Г. Хлопиным 746 радий в количестве нескольких грамм.

Асфальтовый тип недавно найден был в горах Темпль в Ута. Урано-ванадиевые асфальты в биосфере дают ванадаты, из которых ванадат уранила — уванит — кажется самым обычным. 747

Наибольшее значение имеет осадочный тип ванадатов. Они были открыты в Северной Америке, в Колорадо и в Ута, 748 где уран находится в состоянии ванадатов уранила и калия или уранила и кальция:



Реже он встречается в виде сульфатов, карбонатов, фосфатов. Это все желтые минералы, в порошке и кристаллических пластинках, иногда, быть-может, аморфные. Эти минералы составляют цемент мезозойных песчаников, иногда очень богатых органическими веществами, деревом, остатками обугленных растений, костями. Они отлагались в неглубоких бассейнах, близ берегов. Эти руды встречаются на поверхности нескольких тысяч квадратных километров; пласты, богатые ураном, образуют чечевицы, не превышающие 35 метров длины и столько же ширины (максимальная площадь около 900 квадратных метров); их мощность колеблется между 3 и 15 метрами. В частях, богатых ураном, содержание его колеблется между 1 и 2%.

Генезис этих месторождений не очень ясен. Они принадлежат к типу распространенных осадочных полиметаллических месторождений Cu, Cr, Pb, U, Zn, Ag, Ni, Co, Mo, Fe, история которых известна очень отрывочно. Несомненно, что все эти руды образуются на поверхности земли в биосфере или вблизи биосферы, в неглубоких водных бассейнах, состав которых определяется химическими процессами, связанными с выветриванием (в присутствии кислорода) вещества континентов и островов. Но выделение металлических соединений идет в них вне доступа свободного кислорода или в среде, им очень бедной. Огромное значение в этой среде имеет анаэробная жизнь. В большинстве случаев ванадий и уран в таких образованиях отсутствуют; их нахождение есть частный случай.

Их изучение указывает на одни и те же физико-географические условия. Это не может быть случайностью. К сожалению, изучение этих физико-географических условий только 749 еще начато, и очень возможно, что мы имеем здесь своеобразный тип метаморфизации вблизи кислородной поверхности отложений мелководных бассейнов, подобные тем, которые дают начало сапропелям (стр. 174) или битумам. Но отложения этих водных бассейнов не были связаны с образованием большого количества органического вещества. Может-быть, эти мелкие бассейны были связаны с пустынями, с сухими местностями.

Членом того же ряда образований, но богатых органическим веществом, являются асфальтовые ванадиевые соединения, если окажется, что действительно часть их не связана с жильными месторождениями асфальта.

Происхождение металлов, которые они содержат, может быть различно: возможно, что отчасти оно объясняется механическим разрушением горных пород, богатых какими-нибудь месторождениями этих металлов. Но во многих случаях очень вероятно, что эти металлы сконцентрированы были живым веществом при жизни или после смерти. Оба явления обыкновенно дополняют друг друга: живое вещество в местах, богатых металлами, обыкновенно содержит их в больших количествах, т.-е. в таких местах развиваются особые животные и растительные виды.

Факт богатства этих осадков органическими веществами и остатками организмов всюду выражен очень резко.

В частности, очень вероятно, что большая часть ванадия этих месторождений была собрана живым веществом.

Гесс показал значение органических веществ, происходящих от разложения организмов, для генезиса таких ванадатов уранила. Карнитит и тьюмунит концентрируются в песчаниках вокруг остатков организмов; они захвачены углистыми их веществами. 750

Возможно, что ванадаты уранила осаждаются в этих разведенных растворах лишь в присутствии органических веществ.

Это действие органического вещества играет большую роль в истории всех рассеянных металлов; здесь имеет место явление контакта, проявление капиллярных сил.

Во многих случаях можно установить связь живого вещества — происшедших из него органических веществ — с выпадением урана, ванадия и серы.

Уран и ванадий, так же как некоторые другие металлы, концентрируются в асфальтах. Фосфат уранила — отенит — в Мадагаскаре осаждается в богатых торфом песчаниках, где собираются воды, связанные с пегматитами, богатыми урановыми минералами. 751

Эта концентрация урана органическим веществом — факт исключительный в его геохимической истории, так как все другие известные нам процессы способствуют его рассеянию. Очень возможно, что во всех водных месторождениях урана агентом осаждения его соединений являются органические вещества. Карбонаты извести, генезис которых столь тесно связан в биосфере с жизнью, также осаждают ванадаты уранила из их растворов. Так объясняют образование некоторых из этих руд. 752

Самые большие количества урана сосредоточены в таких осадочных месторождениях; таковы, например, месторождения Ута и Колорадо. Количество находящегося в них урана, правда, очень слабой концентрации, соответствует тысячам тонн.

В общем, однако, ясно, что все эти концентрации урана представляют лишь факт второстепенного значения в его истории, так как большая часть его атомов остается в рассеянном состоянии. Из $n \times 10^{13}$ — $n \times 10^{14}$ метрических тонн урана, существующих в земной коре, уран в форме соединений представляет лишь ничтожную долю. 753

То же состояние рассеяния характерно и для тория. В этих рассеяниях атомы тория и урана неотделимы и находятся в земном веществе одновременно.

Однако, и в рассеянном состоянии наблюдается резкое отличие тория от урана. Во вторичных перекристаллизованных из водных растворов соединениях ториевые рассеяния значительно слабее урановых, и не исключена возможность, что торий в этих вторичных рассеяниях не встречается. Этот вопрос требует серьезного изучения. Мы наблюдаем в земной коре, по мере приближения к биосфере, ясный процесс разделения урана от тория.

В наиболее глубинных минералах пегматитовых жил оба элемента всегда находятся вместе, при чем очень часто торий преобладает. В более отдаленных от магматического центра конкреционных жилах, переработанных водами и, может-быть, пневматолитическими процессами, уран редко преобладает над торием, хотя торий всегда находится в месторождениях этого типа. Здесь отсутствуют лишь ториевые минералы.

Наконец, в третьем, осадочном, типе месторождений урана — тория всегда мало, и мы встречаем здесь урановые руды, не заключающие тория.

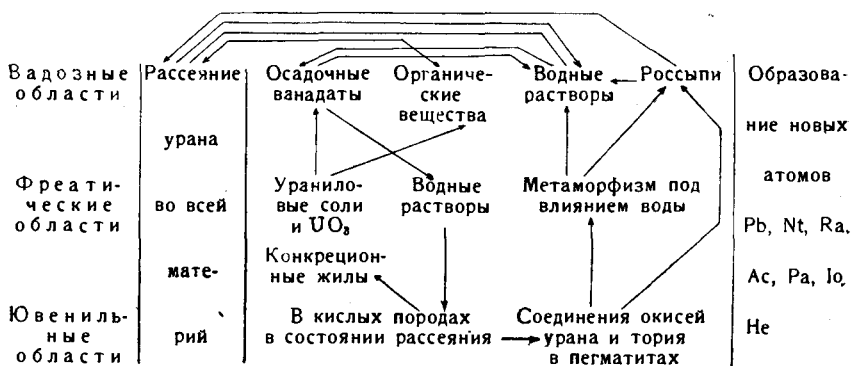
Уран в земной коре встречается без тория, —
754 торий без урана не встречается.

755 Возможно, что это связано не с их генетическими соотношениями, как это думают, но с условиями растворимости их соединений в условиях земной коры.

Таблица XXII дает схему истории урана в земной коре.

7. Рассеяние радиоактивных элементов.

ТАБЛИЦА XXII.



Таким образом, состояние рассеяния есть наиболее характерная форма нахождения для тория и урана. Она еще резче выражена для всех сильно радиоактивных элементов, из них происходящих: Nt, Pa, Po, Ra, Ac, Io и т. д.

Их минералы неизвестны. Мы даже не встречаем концентраций их атомов. Мы видели, что максимальные количества этих элементов, могущие находиться в массах урана и тория, в их самых древних минералах (стр. 236), всегда ничтожны. И нигде в природе мы не встречаем больших концентраций. Урановый минерал, наиболее богатый ураном (α - и β -уранониобиты), не может содержать больше $2,5 \times 10^{-5}\%$ радия. Это число отвечает нескольким квадрильонам атомов радия в кубическом сантиграмме минерала ($6,7 \times 10^{15}$). Однако, и такая концентрация встречается лишь очень редко.

Радиевых минералов не существует; это не зависит ни от неустойчивости его соединений, так как мы их воспроизводим в наших лабораториях, ни от родства радия с его предком ураном, так как радий не остается в минерале, в котором он получил начало.

В частности, мы в природе встречаем минералы, не содержащие урана, но в которых есть радий. В течение миграций урана водным путем, о которых я уже говорил, радий отделяется от него, следует за другими элементами и собирается, например, в баритах или в пироморфитах. Эта концентрация является следствием явлений, связанных с образованием изоморфных смесей. По нашим современным представлениям, в изоморфных смесях атомы близких элементов могут замещать друг друга, и возможно думать, что кристаллы—пространственные решетки—соединений свинца и бария могут улавливать ионы радия из растворов. В этих случаях радий никогда не скопляется в больших концентрациях, чем в исходных для него урановых телах. Наоборот, его процентное содержание здесь меньше, так, например, максимальное количество, известное для пироморфита, не содержащего урана, было $1 \times 10^{-7}\%$ Ra.

756

Очевидно, что это не случайность. Точное определение этих чисел важно для выявления энергетических свойств радия.

Каждый его атом может быть рассматриваем, как источник деятельной энергии, производящей работу в термодинамических условиях земной коры.

Эта энергия пропорциональна количеству его атомов. Так, 757 500 граммов чистой эманации радия (согласно Ф. Содди), если бы они были собраны воедино, до такой степени повысили бы температуру окружающей среды, что никакое земное тело не могло бы их удержать, — все испарились или растеклись бы. Но в атмосфере, вокруг нас, находятся количества этой эманации, в несколько раз, больше чем в шесть раз, превышающие полкилограмма. В воздухе больше 5×10^{-17} % — по весу ее атомов. Но они рассеяны; в каждом кубическом сантиметре воздуха находится 1—1,3 атома нитона. Это, вероятно, величайшее рассеяние химических элементов в земной материи, нам известное.

Благодаря такому рассеянию возможный для них разрушительный эффект исчезает.

Неизбежно, всегда, сколько-нибудь заметные концентрации радиоактивных химических элементов сделаются центрами огромных изменений во всякой среде, в которой они бы находились; они нарушали бы всякое равновесие. Вокруг них совершались бы многочисленные реакции и физические и химические процессы; этим путем скопление деятельных атомов стало бы невозможным; в конце концов атомы были бы разбросаны на огромное пространство и вновь вернулись бы к рассеянному состоянию.

Здесь мы встречаемся с наличием факта общего характера. Земная кора, как мы видели, находится в состоянии динамического равновесия. Это равновесие нарушается всяким источником энергии — внешним или внутренним. Энергия солнца, поглощенная живым веществом, представляет внешний источник по отношению к данной системе, концентрация же радиоактивных элементов — источник внутренний; оба они нарушают энергетическую однородность земной коры.

Все геохимические процессы стремятся к состоянию, в котором деятельная, свободная энергия системы уничтожается или приближается к минимуму. Равновесие этой системы устанавливается только тогда, когда произведена вся работа, отвечающая этой энергии.

Для среды, в которой находятся атомы, носители деятельной энергии, устойчивое равновесие будет достигнуто только тогда, когда эти атомы будут распределены в пространстве с максимальной однородностью, когда в каждом участке данного про-

странства достигнется возможный при данном количестве атомов минимум такой энергии. Такое распределение соответствует максимальному рассеянию сильно радиоактивной материи, возможному обособлению атомов друг от друга.

В идеальном случае, если бы в системе не было других форм энергии, кроме энергии атомной, все сильно радиоактивные вещества (уран и торий в том числе) должны были бы быть в том же состоянии полного рассеяния, в котором находятся Pa, Nt, Po, Ac, Io, Ra.

758

Мы видим, что этот вывод соответствует действительности, конечно, не для всей массы урана и тория, но во всяком случае для главной ее части.

Лишь небольшая доля их атомов дает минералы и концентрации. Очевидно, что для того, чтобы понять их историю и геохимическую историю нашей планеты, было бы очень важно определить эту долю в точных цифрах. Мы не можем этого сделать теперь, — мы можем лишь констатировать, что она очень мала. Несовершенное состояние общих знаний о рассеянии материи, — о лучистой материи Крукса, — задерживает наши успехи в изучении всех этих проблем.

До тех пор мы вынуждены считаться лишь с эмпирическим фактом. Земная материя не может быть определена молекулярными формулами или пространственными решетками-кристаллами. Химические формулы, их выражающие, недостаточны для охвата всех ее атомов. Они дают нам неполное о ней представление. Среди них и сверх них, в каждом кубическом сантиметре земного вещества находятся свободные атомы — миллионы миллионов, состояние которых нам сейчас неизвестно и распределение в атомных системах непонятно. Мы можем, однако, утверждать, что это состояние не есть состояние обычных инертных неделимых.

759

Эти атомы в радиоактивном распаде являются центрами сил, источником огромной атомной энергии.

Значение этой энергии в окружающих нас явлениях с каждым годом становится нам все более ясным.

Атомная энергия — и связанное с ней рассеяние элементов — определяет в сущности основные черты механизма земной коры.

8. Гелий в земной коре.

Среди удивительных свойств радиоактивных элементов, проявляющихся в земной коре и затрагивающих великие загадки Природы — одно из наиболее глубоких, это непрерывное образование на земле легкого газа — гелия.

Гелий образуется вследствие разложения атомов радиоактивных элементов.

Радиоактивные элементы постепенно теряют часть своей массы и образуют новые, очень устойчивые атомы, длительность существования коих, повидимому, превосходит время бытия нашей планеты.

В пределах этого бытия — $n \times 10^9$ лет — исчезающая масса радиоактивных элементов не является ничтожной. В 5×10^8 лет
760 исчезает, превращаясь в другие элементы, 70% урана.

Новые создаваемые атомы это — гелий, изотопы свинца, бить-
761 может, водород. Во время их образования часть массы урана и тория постоянно выходит, в форме новых тел, из геохимических циклов этих элементов, чтобы принять участие в геохимической истории других элементов, резко отличной от истории урана и тория.

Геохимическая история свинца известна лишь в очень общих чертах. Она отвечает обратимому циклу, аналогичному рассмотренным циклам магния, марганца, кремния. Конечно, это сходство касается только самых общих основных черт истории свинца. Вся геохимическая его история (история всех его изотопов) полна особенностями, изложение которых выходит за пределы этой книги.

Резко иной является геохимическая история гелия, благородного газа, химически инертного. Эта история являет новые свойства земной коры. Масса гелия должна была бы увеличиваться с течением геологического времени, так как гелий постоянно вновь образуется во время радиохимических превращений и не разрушается. Атом урана, превращаясь в течение геологического времени в RaG , изотоп свинца, дает 7 атомов He ; атом тория превращаясь в ThD , также дает 7 атомов He , и по меньшей мере равное количество атомов образуется при разложении актиниевого ряда. Возможно, что гелий образуется еще путем других неизвестных нам процессов, так как его

находят в земной коре в условиях, которые не объясняются его образованием из урана и тория; таково его нахождение в бериллиевых минералах.

762

В последнее время большое практическое значение гелия заставило внимательнее изучить его нахождение в минералах и, главным образом, в природных газах. Оно открыло широкое его нахождение, указало, с одной стороны, его повсюдность (в рассеяниях), а с другой стороны, его значительные концентрации. Для газов минеральных источников количество его в свободно выходящем газе превышает иногда 10% (10,16% об. в источнике Saptonau во Франции), по Мурэ и Лепалу (1912); он временами в неменьшем количестве находится в струях каменноугольных газов. В газовых струях, особенно азотно-метановых, количество его в максимуме превышает 3%. Струи, содержащие его больше 1% гелия, например, в Соединенных Штатах в Канзасе или Идаго, дают в течение года очень большие его количества.

763

764

Газовые струи, содержащие больше 0,1% гелия, являются уже богатыми гелием, имеющими практическое значение. В общем такие газовые струи, чистые или связанные с минеральными источниками, не так уже редки, но наблюдаются далеко не во многих участках земной коры.

Очевидно, этим путем в атмосферу выделяются огромные количества гелия, так как в большинстве газовых струй он выделяется непрерывно в течение столетий и тысячелетий (например, в газах источников), если не дольше.

Кажется несомненным, что гелий в таких концентрациях находится в областях больших тектонических нарушений земной коры и тесно связан с выходами азота, частью метана. Мы имеем в этих областях явные концентрации гелия. По существу они нам совершенно сейчас непонятны, ибо гелий находится в небольших количествах во всех газах земной коры, но обычно проценты его исчисляются сотыми долями и меньше.

Увеличение его нахождения в некоторых определенных участках земной коры может иметь место или вследствие того, что есть участки земной коры, где находится относительно больше урана и тория, его родоначальников, где, другими словами, больше создается гелия. Но концентрация может происходить и от того, что в некоторых областях земной коры идет поглощение тех газов, вместе с которыми собирается в земной

коре гелий, — поглощаются азот, углеводороды или углекислота. Гелий — благородный газ — не входит в химические реакции, и газовая струя им относительно обогащается.

С этой последней точки зрения для нас сейчас непонятно, почему это явление должно преимущественно наблюдаться в областях больших тектонических нарушений.

Это становится логически неизбежным, если концентрация гелия связана с нахождением в этих местах больших скоплений урана и тория, аналогичных тем, которые выявляются нам на земной поверхности в формах их первичных ювенильных или фреатических руд. В этих местах не только должны наблюдаться выделения больших количеств гелия, в них должны концентрироваться термические эффекты урана и тория, которые могут приводить к тектоническим дислокациям. Мы должны поэтому наблюдать скопления гелия как раз в областях особых больших тектонических дислокаций. Эти области тектонических дислокаций должны находиться в состоянии становления.

Если это так, то в магматических областях земной коры должны образовываться участки обогащения ураном и торием.

Выяснение этого — дело будущего. Пока мы должны считаться с фактом концентрации гелия в некоторых участках больших тектонических нарушений земной коры, но, однако, не во всех.

765 Многим кажется весьма правоподобным, что количество гелия в земной коре больше, чем сколько его можно было бы в ней ждать, исходя из известного нам в земной коре количества атомов урана (гесп. радия) и тория. Мурэ и Лепап выдвинули гипотезу, что земной гелий скоплен от прежних космических периодов истории земли. Едва ли есть достаточные основания для такого заключения. Можно, повидимому, считать несомненным, что время исчезновения половины атомов урана и тория (порядка 10^{10} лет) по крайней мере соизмеримо с временем, протекшим от начала древнейших геологических эпох — от начала археозоя (10^9 — 10^{10}). Следовательно, за этот период могли исчезнуть половина атомов тория и урана, находившихся в земной коре, и образоваться большие массы гелия.

Количество выделенного при этом гелия, может-быть, не так отличается от действительно наблюдаемого в земной коре.

Оно должно было бы отвечать исчезновению атомов урана и тория — порядка их современного количества в земной коре, т.-е. $p \times 10^{14}$ — 10^{15} тонн этих элементов. Это количество

урана и тория должно было бы дать количество гелия порядка $p \times 10^{13}$ — $n \times 10^{14}$ тонн, т.-е. гелий должен был бы попасть в VI декаду элементов (стр. 24).

Сейчас нет никаких указаний на такую его распространенность. 766

Как мы видели, по имеющимся данным (стр. 24), правда, не очень полным, надо считать, что количество гелия отвечает IX декаде (10^{10} — 10^{11} тонн). Едва ли могут найтись новые данные, которые бы заставили повысить это количество в тысячи или десятки тысяч раз. Возможно, что гелий должен быть передвинут в VIII декаду, но едва ли дальше.

Можно было бы скорее удивляться, что его так мало, ибо едва ли гелий образуется исключительно путем распада одних атомов урана и тория и их производных элементов.

Повидимому, выделение атомов гелия, в виде обладающих зарядами частичек α , позже переходящих в нейтральные атомы гелия, тесно связано с определенным строением атомного ядра атома. Уже в это ядро входят сложные протоны гелия. Я не буду касаться здесь многочисленных спекуляций, связанных с этими идеями. Но их нельзя оставлять совсем в стороне, так как выделение гелия, помимо элементов урана и тория, весьма вероятно. Оно может происходить при трансформации элементов в строении ядра, в которое он входит. Если, как все на это указывает, при β -излучениях атомы калия и рубидия дают изотопы кальция и стронция, — эти изотопы должны при своем распаде выделять гелий, по крайней мере изотопы кальция. Конечно, такие выходящие за пределы 767 точных наблюдений данные всегда очень опасны, но, с другой стороны, возможно, что факт существует и недоступен для нашей проверки, лишь благодаря малой скорости выделяющихся α частиц, не открываемых нашими методами изучения. Мы никогда не должны забывать, что мы с нашими теперешними инструментами можем наблюдать только частички α , быстрота движения которых превышает 20 000 километров в секунду, Частички α — атомы гелия с положительными зарядами — от нас ускользают, как только уменьшается скорость их движения.

Если бы все атомы гелия оставались в земной коре и если бы все радиохимические явления имели место в течение известных геологических периодов нашей планеты, количество гелия должно было бы быть совершенно иным, чем оно есть в действительности и быть гораздо бóльшим.

Мы стоим здесь, при изучении земной коры, перед загадкой более общего масштаба. Почему так мало гелия? Куда он девается? Не только мало для земной коры, — мало его во всей вселенной. Если атомы гелия (и водорода) постоянно образуются и ни во что не превращаются, то их во вселенной должно было бы быть гораздо больше, чем это вытекает из наблюдений Космоса. Надо искать процессы их превращения в другие элементы. Недавно Нернст высказал мысль о возможности такого процесса во всемирном эфире. Он допустим и в туманностях.

769 Как показал Перрен, для гелия мыслим другой процесс исчезновения и изменения — переход в более легкий элемент в пределах высокой атмосферы земли — над озоновым экраном. Здесь лучи солнца могут его превращать в водород.

770 Наконец, в механизме нашей планеты существует еще одно явление, общее для обоих этих легких газов. Совершенно ясно, что с земной поверхности они должны собираться в стратосфере и выше, в гелиевой и водородной оболочках (стр. 58). Но движение их атомов может идти и дальше. Они могут покидать нашу планету, рассеиваясь в космическом пространстве. Гелий (и водород), с другой стороны, в то же время могут и попадать в нее вновь, собираясь из космического пространства.

Однако, его неизменно небольшое количество, повидимому, указывает, что количество гелия в земной коре не увеличивается, что оно или остается в динамическом равновесии (земля и солнечное пространство?), что очень вероятно, принимая во внимание совокупность известных геохимических фактов, — или что оно постоянно уменьшается.

771 Таким образом, в истории гелия выявляется новый, очень важный факт, новое свойство земной коры. Эта кора не вполне изолирована от космического пространства. Все время происходит материальный обмен между земной корой, земным ядром и небесным пространством.

Мы подходим к новым научным проблемам, едва затронутым научною мыслью.

9. Земная кора и радиоактивные элементы.

Последствия существования на нашей планете радиоактивного вещества сказываются в основных геологических явлениях, на ней происходящих.

Они сказываются в меньшей степени, чем получаемая ликом земли, биосферой, солнечная энергия.

Больше двадцати лет назад Д. Джоли первый обратил 772 внимание на значение радиоактивных элементов для термического режима земли. Он доказал, что количество тепла, испускаемого радиоактивными элементами, совершенно достаточно для объяснения крупнейших геологических явлений таких, как существование кремнеземной магмы, расплавленной и нагретой до 1000° и выше, вулканические явления, горячие источники, тектонические и орогенетические движения земной коры. 773

Для объяснения этих явлений издавна, еще с XVI—XVII столетий и особенно с конца XVIII, начала XIX столетия, считали необходимым допустить существование внутри земли запасов тепла, связанных с ее происхождением. Думали, что наша планета обладала некогда более высокой температурой, находилась когда-то в жидком, расплавленном состоянии. Вся ее история связывалась с медленным, еще не закончившимся, ее охлаждением. Это представление очень прочно и глубоко проникло в наши научные мировоззрения и являлось исходным пунктом многочисленных космогонических гипотез, царивших в прошлом веке и еще царящих до сих пор.

Джоли впервые указал на существование в самом веществе земли источника земной теплоты. Через три года — в 1906 г. — другой английский физик Р. Стретт (теперь лорд Ралея) с несомненностью доказал, что количества тепла, выделяемого при радиоактивном распаде земных атомов, совершенно достаточно для объяснения всех явлений, связывавшихся в представлениях ученых с существованием космической теплоты планеты. Больше того, из наблюдений Стретта с несомненностью выявился факт величайшей важности в строении земной коры: радиоактивные элементы не могут находиться во всей толще земной коры в таком количестве, в каком они находятся в доступных нам горных породах земной коры. Если бы количество урана и тория и элементов, из них образовавшихся, было бы то же самое, какое мы наблюдаем вокруг нас, то температура поверхности планеты была бы совершенно иной, чем это есть в действительности; земля была бы раскаленным или расплавленным телом. Из наблюдений Стретта следовало, что радиоактивные элементы не могут проникать в планете много глубже немногих сотен километров, — примерно, 300 километров. 774

*

Наблюдения СТРЕТТА представляли не гипотезы, а факты с поправкой, о которой я сейчас скажу. В их объяснении СТРЕТТ допускал, что испускаемое при распаде атомов тепло тратится исключительно на нагревание путем излучения окружающих частей планеты. Это едва ли так; должна быть внесена поправка, но она не меняет независимое от каких бы то ни было представлений открытие СТРЕТТА.

Точные эмпирические факты, установленные СТРЕТТОМ, не вошли в научное сознание и не обратили на себя достаточного внимания. Слишком глубоко проникли в науку космологические построения великих ученых XVII—XIX столетий.

773 В 1909 году Д. Джоли, пользуясь данными СТРЕТТА, попытался объяснить этим путем явления горообразования, вулканизма и т. под.. Его работа обратила на себя большое внимание, но не изменила общего настроения. В 1915 году 775 новые исчисления А. Гольмса, основанные на новых фактах, не только подтвердили, в общем, суждения СТРЕТТА, но заставили еще более увеличить количество таким образом получаемого нашей планетой тепла. По его исчислениям, концентрации радиоактивных элементов, порядка тех, какие мы наблюдаем в горных породах, нам непосредственно доступных ($p \times 10^9$ — $p \times 10^{-10}$ % Ra), не могут существовать за пределами 50—60 километров в глубину.

Прошло еще 10 лет. Мне кажется, сейчас мы подходим, наконец, к окончательному проникновению этих идей в научное сознание и к неизбежно связанному с этим коренному пере- 776 лому геологических представлений.

Это является следствием как дальнейших успехов учения о радиоактивности, так и новых достижений геохимии, изменения наших представлений о внутренних слоях нашей планеты и о явлениях горообразования.

777, 778 Новые работы, главным образом, Д. Джоли, А. Гольмса и Р. Лоусона указали, что количество тепла, получаемого земной корой благодаря радиоактивному распаду, много больше, чем это предполагали.

779 Поправка на радиоактивность, главным образом, калия, сделанная Гольмсом и Лоусоном, заставляет увеличить получаемую землей теплоту больше, чем на 28,2%. В действительности это тепло должно быть еще увеличено, так как названные исследователи приняли слишком малые числа для

количества рубидия в земной коре. Увеличение тепла будет порядка одного процента, может-быть, больше.

780

Новые данные Гольмса и Лоусона (1926) дают для этих констант, определяющих энергию, выделяемую в год граммом элемента в калориях:

781

U	7900 × 10 ⁻⁴
Tb	2300 × 10 ⁻⁴
Rb	2.38 × 10 ⁻⁴
K	1.24 × 10 ⁻⁴

Грамм изверженных пород в среднем выделяет в год калорий тепла 11.4×10^{-6} , из них приходится на доли урана — 4.74×10^{-6} , тория — 3.45×10^{-6} и калия 3.22×10^{-6} калорий.

782

Благодаря этому, приходится допустить, что граница исчезновения или сильного уменьшения радиоактивных элементов уранового и ториевого рядов, а также калия и рубидия лежит ближе к земной поверхности и не может превышать ту земную кору, мощностью около 16 километров в среднем, средний химический состав которой нам известен.

Такое распределение тепловых излучений находится в полном согласии с выяснившимся за это время химическим и физическим строением этой земной коры. Исходя из геологических данных, пришли к заключению, что гранитная оболочка довольно быстро сходит на-нет, — под ней лежит оболочка из основных пород (базальтовая) (стр. 58—59). Мощность гранитной оболочки различна под континентами и под океанами. Под океанами базальтовая оболочка подходит к их дну, под континентами отходит на 8—16 кил. от земной поверхности. В тесной связи с принципом изостазиса приходится допустить, что такое распределение есть неизбежное следствие равновесия земной коры и самой планеты и что, таким образом и распределение суши и океана есть основная, в общем мало изменчивая черта ее строения. Океанические бассейны не перемещаются в геологическое время, — мы наблюдаем лишь трансгрессии и отходы прибрежных морей.

Термический режим земной коры в области океанов и в области суши различен, так как в области базальтов грамм породы выделяет гораздо меньше калорий (для базальтов больших излияний — среднее — 3.9×10^{-6} калорий в год), чем в области гранитов (среднее для гранитов 15.9×10^{-6} калорий).

Соответственно также уменьшается количество радиоактивных атомов в поверхностной — гранитной — оболочке и в глубинной — базальтовой. Мы имеем в одном кубическом сантиметре атомов:

	U	Th
граниты	6.7×10^{11}	$— 1.5 \times 10^{15}$
базальты	1.8×10^{11}	$— 4.3 \times 10^{14}$

Анализ такого строения земной коры дал возможность Джоли и Гольмсу доказать, что эти различия теплового эффекта горных пород, при указанном их распределении и при подчинении строения земной коры принципу изостазиса, позволяют подойти к объяснению всех самых больших движений земной коры на протяжении всей геологической истории.

Я могу здесь лишь коснуться этих новых охватов истории нашей планеты. Выявляются лишь общие контуры. Мы только подходим к собранию фактов, и многое еще изменится в наших представлениях.

Так, повидимому, неизбежно будет допустить, что на глубинах, больших 16 километров, идет более быстрое дальнейшее уменьшение атомов радиоактивных элементов в кубическом сантиметре, чем это наблюдается в верхней части планеты.

Одной из своеобразных черт такой выясняющейся структуры земной коры является неизбежность периодичности геологических явлений, как это указал Джоли (1925), — смен во времени периодов усиления и ослабления геологических явлений — горообразовательных и вулканических процессов, трансгрессий моря. Нет места — в течение геологического времени (порядок 10^9 — 10^{10} лет) — ни охлаждению ни нагреванию планеты.

784 Такое представление вполне отвечает новейшему развитию геологии, открывающей нам периоды усиления и ослабления геологической деятельности — около 6 раз с археозоя.

Конечно, указанная схема явлений еще далека от полного объяснения сложных и основных геологических явлений, которые обычно сводились к космической теплоте земли. Но она дает для них более правдоподобное объяснение и связывает такие эмпирические данные, как распределение океанов и суши, явлений изостазиса, разной радиоактивности кислых и основных пород, усилений и ослаблений горообразовательных процессов, которые не вытекали из старой гипотезы.

Наконец, главное, она основана на эмпирическом реальном факте, на существовании выделения тепла, как следствия радиоактивных процессов, тогда как космическая теплота земли есть предположение, основанное на космогонических гипотезах.

Перед выяснившимся, достаточным по мощности для объяснения данных явлений, источником теплоты реально существующим, гипотеза охлаждения земли должна сейчас быть оставлена, как ненужное и не обоснованное на фактах представление.

В представлениях Джоли, Гольмса и других, в их современной форме, баланс тепла, ими устанавливаемого, не полон и, несомненно, вызовет значительные поправки, может-быть, очень существенные.

Они в своих оценках принимают во внимание лишь лучистое тепло, поднимающее температуру среды и теряющееся в окружающем пространстве, а также скрытое тепло плавления и застывания глубоких пород. Однако, существуют другие явления, не менее важные и, быть-может, более грандиозные, требующие большего количества калорий. Таковы механические явления, неизменно происходящие в земной коре. К тому же ничто не указывает, чтобы ювенильные минералы были экзотермическими соединениями; наоборот, минералы, образующиеся при поднимающейся температуре, должны большей частью быть эндотермическими, согласно принципу Ле Шателье.

Таковыми могут являться (стр. 118) самые обычные и распространенные тела — каолиновые алюмосиликаты.

То же самое относится к углеводородам, к окиси углерода и, вероятно, ко множеству других первичных, ювенильных минералов.

Количество тепла, поглощаемое ими при их образовании, нам не известно, но оно, несомненно, очень велико и должно изменить все указанные расчеты.

Возможно, что радиоактивные элементы находятся и в более глубоких частях нашей планеты и, распадаясь, выделяют тепло, но в этих глубоких областях существует установившееся термическое равновесие: все выделяемое тепло поглощается на месте.

Это выяснит будущее. Несомненно, во всяком случае, самый основной факт, — факт существования атомной активной энергии в земной коре, проникающей всю ее материю.

Эта атомная энергия всюду распределена с большей однородностью, и ее местные концентрации не имеют большого значения на земной поверхности; они могут существовать на ней лишь временно.

Эта атомная энергия — в своей главнейшей части — связана не с молекулярными соединениями или кристаллическими пространственными решетками. Она связана с атомами, находящимися в состоянии рассеяния.

Эта энергия совершенно достаточна для объяснения существования расплавленной кремнеземной магмы, согретой до 1200° Ц. и выше, для образования ювенильных, эндотермических минералов.

Эта энергия все время поддерживает обратимые геохимические циклы всех химических элементов земной коры, непрерывное движение их атомов, большие круговые процессы их миграций.

Бросая теперь взгляд на отмеченные в этих очерках явления, можно, как мне кажется, вывести следующие общие заключения:

Механизм земной коры определяется свойствами атомов, ее образующих, химический состав коры не случаен.

Большая часть материи в ней находится в непрерывном движении — в миграциях — и образует обратимые замкнутые циклы, всегда возобновляющиеся и тождественные. Они возобновляются на поверхности энергией солнца, поглощенной живым веществом, а в глубинах силой атомной энергии, испускаемой радиоактивным распадом.

Этот механизм, повидимому, не вечен. Деятельность человечества и, быть-может, всего живого вещества производит на земной поверхности изменения, последствия которых во времени от нас ускользают. Радиоактивная материя разрушается при условиях, в которых мы не видим возможности воссоздания погибших атомов.

Это представление, подобно всякому человеческому представлению, служит лишь слабым отблеском необъятного величия Космоса, всюду и всегда являющегося нам как Порядок Природы, а не как творение хаотического случая.

ПРИМЕЧАНИЯ.

1) Р. Бошкович (1711 — 1787), член общества Иисуса, гражданин Дубровницкой республики, не итальянец, как иногда пишут и против чего он всегда протестовал (V. Varičak, *Matematicki rad Boscovičev*, 1, Z. 1910 — 1912 p. XXV. Cf. R. Boscovich. *Les eclipses*. Trad. par l'abbé Béguet. P. 1779. p. IX). О Бошковиче существует огромная литература, увеличивающаяся в последнее время, так как его идеи сохраняют большой интерес до сих пор. Основным источником должны считаться издания Юго-Славянской Академии в Загребе (*Rad Jugoslav Akad.*): №№ 87, 88, 90. *Život i osjena djela I. Boškoviča* (работы Ф. Рачкаго, J. Торбара, V. Dvořака). Z. 1887 — 1888 и № 181 — 185, 190, 193 (Z. 1910 — 1913) — раб. V. Varičak'a. Ср. также № 225 Z. 1917 — 1921 (раб. проф. Майцена), № 230, 232. Z. 1925 — 1926 (V. Varičak). Здесь очень полно указана литература. *Spomenica R. J. Boskoviča*. Dubr. 1911. Любопытное письмо (об отношении веры и знания) Бошковича (1784) напечатано А. Заниновичем в сборнике *Strena Buliciana*. Zagr.-Asp. 1924., p. 709 сл. Интересный обзор своих работ дал сам Бошкович: R. Boscovich. *Les eclipses*. P. 1779, p. 532 сл. Из новой литературы о Бошковиче см. еще D. Nedelkovičh. *La philosophie naturelle de Boskovičh*. P. 1922. L. Čermelj. *Boškovičev Nauk o materiji — prostoru — času v luči relativnostne teorije*. Ljub. 1923. J. Голберг. Квантени, проблемы у структурном или Бошковићеву атомским полју. «Глас српске крал Акад.» 117. Б.-З. 1926. 76. Ср. Вернадский. Основы кристалл. I. М. 1903. 134 — 135. Новые работы вскрывают любопытные черты этого глубокого представления о мире. Я благодарю проф. Ф. Тучана в Загребе за многие указания литературы и возможность ею пользоваться.

2) Он принял французское подданство в 1773 г. и несколько лет (1773 — 1782) провел в Париже в качестве академика и директора «*Optique de la Marine*». Иезуит, искренний и глубоко верующий христианин, он имел друзей и могущественных врагов (между прочим д'Аламбера). Интересно отметить совершенно противоположную оценку научного значения Бошковича в XIX и XX веках. Он, один из величайших ученых человечества, казался в 1841 г. Ф. Араго «личностью, к которой Лагранж и д'Аламбер относились с величайшим презрением», и «посредственным иностранцем» (F. Arago. *Oeuvres complètes*. II, P. 1854, p. 139 — 140). О Бошковиче во Франции см. указания Рачкаго, Торбара, Дворака и других) в указанных изданиях Юго-Славянской Академии Наук.

3) R. J. Boscovich, *Philosophiae naturalis theoria*. Vienna 1758. Был ряд изданий в XVIII стол. В 1922 вышла перепечатка в Чикаго и Лондоне (Open Court) с английским переводом J. Child'a. Первые зачатки этой теории были даны в 1748 г. (V. Dvořak, l. c., 1887—1888, p. 479). Бошкович дал разъяснения своей теории в примечаниях к ученой латинской поэме о мироздании, которую написал его друг единоплеменник, видный эрудит и папский вельможа И. Стай (И. Стойкович). J. Staj. *Philos. recentioris libri decem*. III. R. 1792. p. 417 сл. О нем L. Čermelj. l. c., 1923, p. 48.

4) В труде, который он закончил за несколько недель до своей смерти, «*Kosmotheoros*», Х. Гюгенс высказывает свои самые сокровенные мысли о строении мира, являющиеся основой всей его научной работы. Два принципа огромной важности очень ясно в нем выражены: принцип тождества материального состава и сил во всем Космосе и понятие о жизни, как о чем-то резко отличным от косной материи и как о явлении космическом (*Kosmothéoros*, Ed. 2. Fr. et L., 1704, p. 17 сл.). Гюйгенс принял во внимание принцип Реди, значение коего он воспринял всецело («*res mirabilis atque ab omni aëro incognita*»; C. Hugenius. *Opera varia*. L. B., 1724, p. 689). Космотеорос не был должным образом оценен биографами Гюйгенса. См. несколько интересных замечаний у F. Hoefel. *Nouv. Biogr. génér.* 25, p. 1861, p. 676. Космотеорос Гюйгенса был дважды издан по-русски—в 1717 и 1724 годах. (Перевод I. В. Паузе—книга мирозрѣнія.) См. П. Пекарскій. *Ист. Акад. Наукъ*. I. П. 1870. Стр. XVI, XIX.

5) W. Huggins. *Scientific papers*. L, 1909, p. 33, 486, 504. Cf. W. Huggins. *L'analyse spectrale des corps terrestres* (1856). Tr. par ab. Moigno. P. 1866.

6) Ср. В. Вернадский. Мысли о современном значении истории знаний. Л. 1927. (Труды Ком. по ист. знаний Акад. Наук. № 1.)

7) G. F. Rouelle (1703—1770). В своих лекциях он касался «явлений природы» и растительного царства. Он думал, что химический анализ растений может заменить чисто ботанические методы в выработке классификации видов растений (см. D. Diderot. *Oeuvres complètes*. VI. P. 1875, p. 407—408. Изд. J. Assezas). Научной биографии Руэлля не существует. См. F. Hoefel. *Histoire de la chimie*. II. P. 1843, p. 386 сл. P. Car. *Etudes biogr.* I. P. 1857, p. 231 сл. Очень возможно, что по отношению к растениям на него влияли многочисленные химические изыскания XVII и XVIII веков, связанные с резким различием химических продуктов, получаемых из разных растений. Таково, напр., введение Д. Додара (1676) к совместной работе Парижской Академии. (См. D. Dodart. *Mémoires de l'Acad. R. des Sciences*. 1666—1669. IV. P. 1731, p. 153 сл.)

8) Lavoisier. *Traité de chimie* (1787) (*Oeuvres*. I. P. 1868, p. 325. *Opuscules physiques et chimiques*, ib. I, p. 445 сл.). *Oeuvres*. II. P. 1872, p. 870.

9) О значении Бюффона, очень часто недооцениваемого, см. В. Вернадский. Очерки и речи. II. П. 1922, стр. 66, 69. В. Вернадский. История минерал. земной коры. I. П. 1924, стр. 12. Из более новой, сверх указанной там литературы, см. L. Roule. *L'histoire de la nature vivante d'après l'oeuvre de grands naturalistes français*. I. Buffon. P. 1925.

10) Еще до самого последнего времени (1925) в Париже была улица Alexandre de Humboldt, только в этом году переименованная в честь какого-то местного скромного французского деятеля.

11) О Г. Дэви (H. Davy. 1778 — 1829): R. Hunt. Dict. of nation. biogr. 5. L. 1908, p. 637 сл. Любопытна для его мировоззрения его предсмертная книжка, оконченная незадолго до его смерти. H. Davy. Con-solations in travel of the last days of a philosopher. L. 1851.

12) J. C. Reil (1759 — 1812). О нем M. Neuburger. J. Reil. St. 1913. H. Steffens. J. C. Reil, eine Denkschrift. Halle 1815. Любопытны заметки Стеффенса в его автобиографии (Was ich erlebte. IV. St. 1841, p. 181). Очень характерна программа Рейля, составленная для основанного им журнала Archiv f. Physiologie. I. 1796.

13) Полной настоящей биографии Гумбольдта, отвечающей нашему о нем представлению в XX столетии, нет. Много материалов для суждения о его личности и духовной жизни в изданной многочисленной переписке и в его собственных сочинениях. Первая половина естествознания XIX века проникнута его мыслью, и в истории этого времени мы встречаемся с ним на каждом шагу. Научная судьба А. фон Гумбольдта очень своеобразна. Этот человек поразительной работоспособности, влияния на научную мысль и научную организацию своего времени, необычайной широты интересов и знаний, мыслил как Бюффон «картинами природы», выражая их, однако, более точными цифрами. Начав две колоссальных работы «Описание путешествия» и «Космос» и включив туда множество драгоценнейших наблюдений, он не обработал и не пошел по тем следам, какие перед ним открывались. Если бы он в своей научной работе шел иным путем—его достижения были бы иными. Гумбольдт был чрезвычайно близок к синтезу геохимических, проблем. Сейчас и подробное описание его путешествий и его «Космос» заключают множество драгоценнейших указаний, далеко не охваченных современной наукой. Несмотря на то, что Гумбольдт считается основателем географии растений, его оценка в истории географии до сих пор не сделана. Фитосоциология, экология, явления, связанные с биоценозами, могут быть во всех основных чертах прослежены в своем зарождении в его работах. См. H. Bruhns. Alex. v. Humboldt I—3. L. 1872 (сборный труд). Из русских А. С(креби)цкй. «Вѣстникъ Европы». П. 1870—1871. Д. Анучинъ. А. ф. Гумбольдтъ. М. 1915. (Предисловие к переводу его «Средней Азии» I.) Мне кажется, оценка Гумбольдта Анучиным не дает о нем правильного впечатления. См. еще о Гумбольдте мои «Очерки и речи». 2. П. 1922. Стр. 80 — 81.

14) О Хладни (E. F. Chladni, 1756 — 1827). См. W. Bernhardt. E. F. Chladni. Witt. 1856. В его работах много автобиографических данных, особенно связанных с ходом его научной мысли. См. E. F. Chladni. Die Akustik. L. 1802. p. XIII сл. Его же. Ueber Feuer-Meteore. W. 1819, p. 6 сл., 10 сл., 320 сл.

15) E. Howard. Philos. Trans. fo R. Soc. L. 1802, p. 168 сл. Count de Bournon, ib., p. 203 сл.

16) J. B. Dumas (1800 — 1884). См. его Leçons de philosophie chimique. P. 1837 (переиздание—P. 1878). J. Dumas et J. Boussingault.

Essai de statique chimique des êtres organ. P. 1841. 3 éd. P. 1842. О нем А. Hoffmann. Zur Erinnerung an J. B. Dumas. B. 1885. P. Van Thieghem. Notice sur la vie et les travaux de J. B. Dumas. P. 1912. S. Cannizzaro. Bull. Soc. Chim. 42. 1884. 130. F. Le Blanc, ib. 549. C. de Camberousse. Le Génie civil. 5. P. 1884. 409. Некрологи в Comtes Rendus de l'Acad. des Sciences. 98. P. 1884 (p. 933—Rolland, 934—Comte d'Haussonville, 936—J. Bertrand, 940—J. Wurtz, 944—Meisens). M. Maindron. L'Ouvre de J. B. Dumas. P. 1886 (библ.). E. Hjelt. Berzelius—Liebig—Dumas. B. 1918. W. Tilden. Famous chemists. L. 1921. J. Dumas. La vie du J. B. Dumas. P. 1924.

17) J. Boussingault (1802—1887). Ср. особенно его Economie rurale. I—II. 2 éd. P. 1851. Agronomie, chimie agricole et physiologie. 3 éd. 1—8 P. 1886—1895 (перепечатка его статей. В 8-м томе биография, составленная P. Déhérain). Очень любопытны его воспоминания (недоконченные) Mémoires. 1—5. P. 1892—1901. См. еще Comptes Rendus 104. P. 1887—некрологи (1339—J. Schlösing, 1342—Troost, 1345—Jansen).

18) K. Sprengel. 1787—1859. Его работы. Bodenkunde. 1—2. 2 Ausg. L. 1844 (первое издание в 1837). Von d. Substanzen d. Ackerkrumme u. d. Untergrundes (Erdmann's Journ. f. techn. u. ökon. Chemie. 2—3. L. 1828). О его значении см. В. Вернадский. «Очерки и речи». 2. П. 1922. Стр. 89 (лит.).

19) J. Liebig (1803—1873). Его идеи в работах: Die Chemie in ihrer Anwendung an d. Agricultur u. Physiol. Br. 1840 (9 изд. Zöllner'a. Br. 1876. русск. изд. П. Ильенкова. М. 1870). Chem. Briefe Br. 1844 (6 изд. 1877, русск. изд. 1865). Все его работы полны отражением его оригинальной личности. Важна его переписка. О нем см. J. Kohut. J. Liebig. L. 1904 (лит.).

20) Я оставляю здесь в стороне споры о приоритете или неправильные оценки современников (Дюма-Либих, Либих-Шпренгель). Суд истории иначе оценил работу каждого, и эти четыре лица—каждый—внесли достаточно в решение этих задач, работая разными путями и по существу независимо.

21) О значении Берцелиуса в минералогии см. В. Вернадский. О группѣ силлиманита и роли глинозема въ силикатахъ. М. 1891.—История минералов в земной коре. I. Л. 1924, стр. 6. Ср. о нем Söderbaum. Berzelius. L. 1899.

22) C. Bischoff. Lehrbuch d. chem. u. physik. Geol. 1—2 Bonn. 1847—1855. Англ. издание, переработанное, Elements of chem. a. phys. Geol. I—III—L, 1854—1859. 2-е немецкое издание. 1—3 Bonn 1863—1866. Suppl. B. 1871.

23) Elie de Beaumont. «Bulletin de la Société géolog. de France». (2) 4. P. 1846, p. 1249.

24) J. Breithaupt. Paragenesis d. Mineralien. Fr. 1849.

25) О Бишофе см. D. F. Geological Magazine. 8. L. 1871, p. 45 сл. Gumbel. Allgem. Deutsche Biographie. 2. L. 1875, p. 665. Очень интересны для биографии Бишофа предисловия к разным томам его многолетнего труда, дающие яркую картину его духовной эволюции и отра-

жающие его личность. (I. В. 1847. р. VII сл. II. I. В. 1851. р. I сл. (Einleitung) II, 2. В. 1855. р. III сл. I. В. 1863. р. V сл. Einleitung р. 1 — 24). Бишоф, охватывая огромный материал непрерывной работой своей личности, все время его обрабатывал и подходил к новым понятиям и обобщениям.

26) Elie de Beaumont (1798—1874). О нем С. S-te Claire Deville. Coup. d'oeuil histor. sur l'hist. de géol. et les travaux de Elie de Beaumont. P. 1878. J. Bertrand. Eloges académ. P. 1890. p. 97. s. Discours pron. aux funé debates de Elie de Beaumont. P. 1874 (тоже в Comptes Rendus de l'Acad. d. Sc. vol. 79 — речи J. Dumas, С. S-te Claire Deville, A. Daubrée, Laboulay). Inauguration d'une statue de Elie de Beaumont à Caen. P. 1876. (изд. Inst. de Fr.).

27) J. A. Breithaupt (1791—1873).— Один из самых крупных представителей вековой Фрейбергской школы минералогии. Все его работы носят отпечатки очень оригинального ума и тонкого, точного наблюдателя. О нем G ü m b e l. Allg. Deutsche Biogr. 3. L. 1876. 293. F. v. K o b e l l. Sitz. Münch. Akad. 4. 1874. 75.

28) Д. Менделѣевъ. Основы химіи. 1-ое изд. П. 1868. 6 изд. П. 1896. Блестящие лекции Д. И. Менделеева в Петербургском университете остаются незабываемыми для немногих еще оставшихся в живых его слушателей. В них он еще больше, чем в книге, подчеркивал значение естественных природных процессов—земных и космических: химический элемент являлся в них не абстрактным выделенным из Космоса объектом, а представлялся облеченным плотью и кровью составной, не выделяемой частью единого целого—планеты и Космоса. Мне выпало счастье слушать его курс в 1881—1882 гг. во всегда переполненной, большой—VII аудитории университета. Сколько в это время рождалось мыслей и заключений, нередко шедших совсем не туда, куда вела логическая мысль лектора, действовавшего на нас всей своей личностью и своим ярким красочным обликом.

29) См. G. Kirchoff u. R. Bunsen. Annalen d. Physik u. Chemie 110 и 111. L. 1860 и 1861. Р. Бунзен [(R. Bunsen 1811—1899)] был не только крупным химиком; это был минералог, вдумывавшийся в химические проблемы планеты. Он много дал для химии вулканизма и петрогенеза. Проблемы геохимии были ему очень близки. См. R. Bunsen. Gesam. Schriften 1—3. L. 1904.

30) Этот вывод остается верным, хотя существуют спектральные линии, указывающие на неизвестные нам элементы, как короний, небулий. История гелия, сперва открытого на солнце и звездах, а потом на земле, утверждает это убеждение. Единство химического состава останется неизменным, даже если некоторые системы атомов, в силу их термодинамических условий не могут существовать на нашей планете. Это, напр., показывает с известной долей вероятности изучение звезды туманностей. Очень возможно, что соображения Д. Джинса (J. Jeans. Nature. L. 1926. Suppl. pp. 1 сл.) правильны, и что внутри звезд господствуют элементы, более тяжелые, чем уран, не могущие существовать на земле. Все же единство химического состава вселенной останется нерушимым, так как и эти атомы входят в одну и ту же систему с остальными

и генетически с ними связаны. То же самое, очевидно, останется верным, если бы оказалось, что живое вещество земли материально, по характеру атомов, отличимо от косной материи планеты (В. Вернадский. Докл. Акад. Наук. Л. 1926, стр. 215).

31) F. Clarke. Data of geochemistry. W. 1908, 5-ое изд. W. 1924.

32) F. Clarke. The evolution of matter. W. 1924 (Prof. papers of U. S. Geol. Surv.). Первая работа напечатана в 1873 году в «Popular Science Monthly».

33) При огромном достоинстве этой книги нельзя не отметить несколько бросающихся в глаза пропусков. Так, совершенно не приняты Кларком данные о почвах, огромный и ценнейший материал, без которого не могут быть правильно оценены данные о составе морской и речной воды, тщательно отмеченные Кларком. Совершенно остался в стороне сероводород, геохимическая роль которого огромна. Не принят во внимание состав живого вещества, помимо скелетной части. Наконец, несомненно, литература военного и послевоенного времени — не американская — очень неполна.

34) F. Clarke a. H. Washington. The composition of the Earth's crust. W. 1924 (Prof. papers of U. S. Geol. Survey. 127). Первая работа в 1889 году — F. Clarke. Bull. of philos. Soc. of Washington. II. W. 1889. p. 111. Об исчислениях Фохта и моих, также литературу см. В. Вернадский. Опыт опис. минер. I. П. 1908 — 1914, стр. 121, 741. История минералов в земной коре. 2. Л. 1926, стр. 41, III.

35) Ср. А. Ферсман. Химические элементы земли и космоса Л. 1924.

36) В. Вернадский. Биосфера. Л. 1926, стр. 13.

37) О связи этого направления с научной работой и мыслью Бюффона см. В. Вернадский. Ист. мин. земн. коры. I. П. 1924. 12 — 13.

38) Если позволено мне будет здесь дать несколько личных воспоминаний, я не могу не вспомнить той творческой работы, которую в моей молодости я пережил в кругу молодежи, группировавшейся в Минералогическом Кабинете Петербургского университета вокруг моего учителя В. В. Докучаева. В. В. Докучаеву пришлось читать минералогию и кристаллографию, хотя научный интерес его шел в другом направлении. В это время он все силы своего большого ума и большой воли направил в сторону почвоведения, где значение его личности и данного им направления живо до сих пор. Благодаря почвоведению интерес к генезису минералов был у Докучаева очень силен, и это отражалось и на его лекциях и на тех беседах, которые велись среди молодой и талантливой окружавшей его молодежи. Труды Бишофа оказали большое влияние в этой среде и тщательно здесь изучались. Пробудившийся у меня здесь интерес к этим вопросам встретил у В. В. Докучаева активное сочувствие. По его настоянию, появилась и моя статья о генезисе минералов в Энциклоп. Словаре Брокгауза, отражавшая интересы того времени. Ср. мою статью о В. В. Докучаеве — В. Вернадский. Очерки и речи. II. П. 1922, стр.

39) В. Вернадский. Лекции описательной минералогии. I. М. 1899. Опыт описательной минералогии. I. П. 1908 — 1914. II. 1918 — 1922. Минер.

ралогія. I. М. 1910. II. М. 1912 (3 изд.). История минералов земной коры I. 1 — 2. Л. 1924 — 1927. Забѣтки о распред. хим. элем. въ земной корѣ. I — VII (Извѣстия Акад. Наук. 1909 — 1916). О цезіи въ полевых шпатахъ (ib. 1909). Къ вопросу о распространеніи скандія (ib. 1908). Парагенезисъ химическихъ элементовъ въ земн. корѣ (Дневникъ XII съѣзда русскихъ естеств. и врачей. М. 1909 — 10. Очерки и рѣчи. I. 1922). О необходимости изслѣдованія радиоактивн. минераловъ Россіи. 3 изд. П. 1914 (первое 1910). Титанъ въ почвахъ (Почвовѣдѣніе. 1910). Задачи дня въ области радія (Изв. Акад. Наукъ. П. 1911. — Очерки и речи. I. 1922). О воробьевитѣ и химич. структурѣ берилловъ (Труды Геол. Музея Акад. Наукъ 1908). О рубидіевыхъ и цезиевыхъ полевыхъ шпатахъ. (Изв. Акад. Наук. 1911). О газовомъ обмѣнѣ земн. коры (Изв. Акад. Наукъ. 1912. Очерки и речи. I. 1922). Радиоакт. руды въ земной корѣ (Временникъ Общ. им. Леденцова. М. 1912). Къ вопросу о химич. составѣ почвъ (Почвовѣдѣніе. 1913). Sur le microcline à rubidium (Bull. Soc. Minér. Fr. 1913). Краткій отчетъ о ходѣ изслѣдованія радиоактивныхъ мѣсторождений (Изв. Акад. Наукъ. 1914). Матеріалы для спектроскопіи земной коры I — II (Изв. Акад. Наукъ 1914 — 1915). О радиоакт. химич. элементахъ въ земной корѣ (Практич. Медицина за 1915). О необходимости срочнаго исслѣдов. рудъ рѣдкихъ платинов. металловъ (Отчеты о дѣят. ком. по изуч. ест. произв. силъ 1916, № 5). Объ использовании химич. элем. въ Россіи. (Русск. Мысль. 1916. Очерки и речи. i. 1922). Записка об изуч жив. вещества с геохим. точки зрѣнія (Изв. Акад. Наукъ. 1921). О задачах геохим. исследования Азовскаго моря и его бассейна (ib.). О геохимич. анализе почвъ (Бюллетень III всероссийск. съезда почвоведов в Москве. М. 1921. № 3 — 4). Начало и вечность жизни. П. 1922. Химический состав жив. вещества. П. 1922 (по франц. Revue génér. de Sciences. 1923). Химические элементы и механизм земной коры (Природа. П. 1922, № 3 — 5). Sur le nickel et le cobalte dans la biosphère (C. R. de l'Acad. de Sc. de Paris. 1922). Sur le problème de la décompos. des kaolins par les organismes (ib.). A plea for the establishment of a biogeochem. laboratory (37 th. Report. of Liverpool Marine biol. Station. 1923). Живое вещество в химии моря. П. 1923 (по франц. Revue génér. des Sciences. 1924). La géochimie. P. 1924. Sur la géochimie (Revue Scient. 1924). Sur la portée biologique de quelques manifestations géochim (Revue génér. des Sciences. 1925). Ход жизни в биосфере (Природа. 1925). L'autotrophie de l'humanité (Revue génér. des Sciences 1925). Sur la pression de la matière vivante dans la biosphère (Comptes Rendus de l'Acad. de Sc. de Paris. 1925). Sur l'analyse des sols au point de vue géochim (Actes de IV Confér. Intern. de pédologie. R. 1926). Определение геохимич. энергии однолетних цветков. растений. Л. 1926. Определение геохим. энергии некоторых насекомых. Л. 1926. Размножение организмов и его значение в механизме биосферы. I — II (Изв. Акад. Наук. 1926). Etudes biogéochimiques. I — II (ib. 1926 — 1927). Очередная задача в изучении естеств. производит. сил (Научный работник. 1926). Изотопы и живое вещество (Доклады Акад. Наук. 1926). Биосфера. Л. 1926. О рассеянии химических элементов (Отчет Акад. Наук. Л. 1927).

40) Напечатаны частью в «Природе». М. 1912.

41) А. Ферсманъ. Курсъ геохиміи въ Универ. Шанявского. М. 1912. Колич. состав земной коры въ проц. числе атомовъ (Изв. Акад. Наукъ. 1912. Геохимія и рудное дѣло (Уральск. Техникъ. 1913). Химич. жизнь Крыма въ ея прошломъ и настоящемъ (Записки Крымск. Общ. Ест. 4. 1914). Химич. жизнь земн. коры (Природа. 1914). Къ минерал. каменцоуг. отложеній Боровичей (Изв. Акад. Наук. 1915). Парагенезис минералов Мурзинки (ib. 1922). Геохимія России. I. П. 1922. Об одной законности. распредел. химич. элем. (Доклады Акад. Наук. 1923). Минеральные ассоциация Хибин. и Ловозерск. Тундр (Изв. Акад. Наук. 1923). Химические элементы земли и космоса. Л. 1923). К вопросу о содержании рѣдких земѣль в апатитах (Доклады Акад. Наук. 1924). Химич. проблемы промышленности. Л. 1924. Драгоцен. и цветные камни. II. 1925 (миграция элементов в пегмат. жилах). Ueb. die migmatischen Pegmatite d. Urals (Доклады Акад. Наук. 1925). Тюя-Муюнское месторождение радиевых руд в Фергане. М. 1925 (с Д. Н. Щербakovым). Геохимич. проблемы серных бугров в пустыне Каракумы (Матер. по изуч. ест. произв. сил. № 59. 1926). Процессы замещения в гранитных пегматитах (Доклады Акад. Наук. 1926). Монголоохотский металлич. пояс (Поверхность и Недра. 1926). К морфологии и геохимии Тюя-Муюна (Труды по изучению радия. III. 1927).

42) Я. Самойловъ. Мѣстор. тяжелаго шпата Костромск. губ. (Изв. Акад. Наукъ. 1910). О сульфатѣ барія въ тѣлѣ животныхъ (ib.). Къ минералогіи фосфор. мѣстор (Труды ком. иссл. фосф. 1911—1914). О распростр. оксфордо-секванск. баритовъ (Изв. Акад. Наукъ 1912). Къ вопросу о генезисѣ нѣкотор. минераловъ осад. пор. (Матер. позн. строенія Россіи. 1913). Palaeophysiology (Miner. Magaz. 1917). Къ вопросу о перемѣщеніи кремнезема (Записки Геол. Отд. Общ. Любит. Ест. 1917). Биолиты, как орудие постижения жизни прежних геол. эпох (Природа. 1921). Химич. состав цехштейн. моря (Изв. Акад. Наук. 1921). Железо-марганц. желваки со дна Черн., Балт. и Баренц. морей (с А. А. Титовым. Тр. (Геолог. и Минер. Муз. Акад. Наук. 1922). Palaeophysiologie u. ihre geol. Bedeutung (Zeitschr. Geol. Ges. 1922). Очередн. работы в обл. изуч. осадочных пород (Труды Инст. Прикл. Минер. 1923). Эволюция минер. состава скелетов орган. (ib.). Изучение известняков с палеофизиол. точки зрения (ib.) (Изв. Моск. Отд. Геол. Ком. I. 1923). Задача изучения соврем. осадков морск. дна (Почвоведение. 1924). Минер. состав скелетов беспозвон. Баренц. и Карск. морей. (Тр. Инст. Прикл. Мин. 1924 с К. Ф. Терентьевой). Les biolithes (Compte Rendus du Congrès Geolog. Intern. 1924). Отложения кремнезема органоген. происхождения—кремнез. биолиты (с Е. В. Рожковой. Тр. Инст. Прикл. Минер. 1925). О сероводороде в каменноуг. известняках Донецк. бас. — с В. Зильберминцем (Тр. Исследов. Инст. Минер. Петрогр. I. 1925).

43) В. Вернадский. Очерки и речи. I. П. 1922, стр. 59 сл.

44) L. De Laupaу. Traité de métallogénie. 1 — 3. P. 1913. La Science géologique. 2 éd. P. 1912. (Третье издание 1924 — без перемен.)

45) Stölzner-Berjeat. Die Erzlagerstätten. 1 — 2. 1904 — 1906.

46) Van Hise. A treatise on metamorphism. W. 1904. (Monogr. U. st. Geol. Survey).

47) V. Lindgren. Mineral deposits. 2 ed. L. 1919.

48) V. Goldschmidt. *Geochem. Studien.* 1—VII (Vidensk. Selsk. Skrifter. Chr. 1922—1926.)

49) Об изучении геохимических проблем во Франции (и литературу) см. мое французское издание: — *La Géochimie.* P. 1924, p. 6. По истории геохимии — замечания А. Е. Ферсмана. *Хим. элементы земли и космоса.* Л. 1924, стр. 151. Из новых обзоров о задачах геохимии см. V. Goldschmidt. *Beitr. z. Geophysik.* 1926. J. Durand. *Bulletin de la Soc. Chim. de France.* 39. P. 1926, p. 501, сл. В. Вернадский. О рассеянии химических элементов. Л. 1927 (Отчет Акад. Наук).

50) Эта таблица отличается от обычных тем, что в основу ее приняты атомные числа, эмпирически определенные. По ним распределены химические элементы, не считаясь с тем, что этим нарушаются (в группе редких земель) те правильности, которые связаны с рядами (I—VIII) химических элементов. Нарушающие эти правильности элементы отвечают атомным числам 59—71.

51) В промежутки между 1924—1926 гг. были констатированы в земных продуктах — большей частью рентгеноскопическим путем: № 43 (экамангам, или рейний), № 61 (иллиний или флорентий), № 75 (двимангам или мазурий), № 85 (экаиод), № 87 (экацезий). Ни один из них не выделен. См. О. Звегинцев. *Природа.* Л. 1927. № 3.

52) Об особой — от других элементов — возможной природе небулия см. H. Lemon. *Amer. Physic. Soc. of Washington.* 1924. *Ср. Nature.* 113. L. 1924, p. 764.

53) Может быть больше 800 килом. (северные сияния).

54) В. Вернадский. *Опыт описат. минер.* I. П. 1908—1914, стр. 121, 740.

55) W. Phillips. *An elementary introduction to the knowledge of minerals,* 2 ed. L. 1819, p. XLIX, LX, LXXIII, LXXIX, LXXXII (первое издание в 1816). W. Phillips. *Outlines of geology and mineralogy,* 4 ed. L. 1826, p. 40 (первое издание в 1815).

56) J. Phillips. *A guide to geology,* 3 ed., L. 1836, p. 8.

57) H. de la Bèche. *Researches in theoretical geology.* L. 1834, p. 7. ss.

58) Elie de Beaumont. *Bull. de la Soc. géol. de Fr. (2).* 4. P. 1846, p. 1251.

59) A. Daubrée. *Bull. Soc. géol. Fr. (2),* 28, P. 1871. p. 332.

60) F. Clarke. *Bull. of philos. Soc. of Washington,* W. 1869, p. 131. *Data of geochemistry,* 5-th ed. W. 1924, p. 22 s. F. Clarke et H. Washington. *Proceedings of nation. Acad. of Sc.* 8. W. 1922. p. 110 s. F. Clarke a. H. Washington. *The chemistry of the Earth's crust.* W. 1924 (Prof. pap. U. S. Geol. Survey).

61) J. Vogt. *Zeitschrift f. prakt. Geol.* B. 1898, p. 225 сл. 1899 p. 10, 1906, p. 223.

62) Более новые исчисления см. А. Ферсман. *Хим. элементы земли и космоса.* П. 1923. (Принимает во внимание изотопы.) В. Вернадский. *История минералов земн. коры.* I. Л. 1923—1926, стр. 41, III. Новые исчисления Кларка и Вашингтона (1924) приняты во внимание, поскольку это казалось правильным. Замечания I. с. стр. III—IV.

- 63) G. Oddo. Zeitschrift für anorgan. Ch. 87, L. u. H. 1914, p. 266.
- 64) W. Harkins. Journal of Americ. Chem. Soc. 39. N. Y. 1917, p. 859. S. 41, N. Y. 1920, Philosoph. Magazine. 42, L, 1921, p. 386.
- 65) См. Вернадский. Биосфера. Л. 1926, стр. 13.
- 66) В. Вернадский. Биосфера. Л. 1926, стр. 19.
- 67) Есть еще четвертое основное явление, которое связано с простотой или сложностью химических элементов — нахождение в них одного или нескольких изотопов. При современном состоянии наших знаний приходится оставить в стороне этот признак. О нем в связи с земными химическими элементами см. работы В. Гаркинса (прим. 64) и А. Ферсмана (прим. 62). Некоторые поправки в связи с изотопами указаны в тексте.
- 68) Классификация была напечатана впервые в журнале «Природа». П. 1922, № 3 — 5, стр. 31 сл.
- 69) Геохимическая история гафния (кельтия), повидимому, связана с историей циркония. Минералы циркония содержат до 0,5 процента гафния D. Coster et G. Hevesy. Nature. III, L, 1923, 181, G. v. Hevesy. Ber. d. deutsch. chemisch. Gesellsch., 56, B., 1923, p. 1513. Его же. Hafnium. Kjöb. 1925.
- 70) F. Moureu. Journal de ch. phys. II., P. 1913, p. 139.
- 71) Полного доказательства их существования мы не имеем, но все время накапливаются указания, заслуживающие внимания. Хотя указания Д. Томсона (J. Thomson. Proceed. of R. Soc. A. 101. L. 1922, p. 292) о существовании в воздухе молекул Xe_2 и Kr_2 вызывают возражения, они не могут быть прямо отброшены. Возможно существование гелидов ртути. См. I. Manley. Natures. 118. 1926, 276.
- 72) См. J. Durand. Bull. Soc. Chim. 39. P. 1926. p. 541.
- 73) В. Вернадский. Оп. опис. мин. I. H. 1914. 232, 262.
- 74) В. Вернадский. ib. 1914. 231.
- 75) Например, J. Priestley, Experiments a observations on different kinds of air. I. 2nd ed. L. 1775, p. 268 — 269. О значении Лавуазье см. J. Dumas. Leçons sur la philos. chimique. P. (1887), p. 183. 190. Leçons de chimie. P. 1860, p. 292 (Soc. Chim. de Paris).
- 76) J. Pringle. Discourse on the different kinds of air. L. 1779, p. 24—25.
- 77) J. Dumas et J. Boussingault. Essai de statique chimique des êtres organisés. 3-e ed., P., 1844.
- 78) C. Bischof. Lehrbuch d. chem. u. phys. Geologie. 1 — 2. Br. 1847—1855. 2-e изд. 1863 — 1871. Populäre Briefe. 1 — 2. Br. 1848 — 1849. J. Liebig. Chem. Briefe. Br. 1844. 6 изд. 1877. C. Mohr. Geschichte d. Erde. L. 1866. 2-te Aufl. 1875.
- 79) См. В. Вернадский. Природа. П. 1922. стр. 30 — 39. Отдельные атомы могут обладать движением и как бы дистиллировать в космическое пространство. Если такой процесс действительно происходит, то, может быть, нечетные атомы будут в действительности преобладать в космическом пространстве, и преобладание в космосе четных атомов может быть кажущимся. Интересно отметить в связи с этим указанное сходство химического состава поверхностных областей земли, солнца и звезд. Прим. 66.

80) Лантан — № 57 — иногда отделяется с теоретической точки зрения от этой группы. См. A. Dauvillier et L. de Broglie. *Comptes Rendus de l'Acad. d. Sc.* 173. P. 1921, p. 617. *Journal de phys. et le Radium.* 5. P. 1924, p. 17.

81) R. Vogel. *Zeitschr. f. allgem. u. anorg. Ch.*, 102. L. 1918, 178.

82) Ортиты очень быстро истираются и этим путем исчезают. Возможно образование ими каких-то быстро исчезающих вадозных минералов. Докл. Н. К. Лещенко на Минералог. всесоюзн. совещании: 1927 года.

83) Я назвал их так в 1921 г. в цикле лекций по геохимии, прочитанных мною в Российской Академии Наук. См. о них В. Вернадский. *Биосфера.* Л. 1926. стр. 83.

84) В. Вернадский. *Биосфера.* Л. 1926. стр. 83.

85) Изучение рассеяния химических элементов, его законов и свойств систем, которые оно образует, едва затронуто. Обыкновенно не изучают рассеяния ни в минералогии ни в химии; их не отличают от механических смесей и от разведенных твердых растворов. В моей речи о парагенезисе химических элементов, произнесенной на съезде русских натуралистов в Москве в 1910 г., я выделил их как особые химические системы, микрокосмические смеси. Переиздание этой речи: В. Вернадский. *Очерки и речи*, I. 1922, стр. 78. Сравни мои статьи: *Извѣстія Пб. Академии Наук.* П. 1914. стр. 996. *Практическая Медицина*, 1915, стр. 160. *О расщеплении химич. элементов.* Л. 1927 (Речь).

86) A. Dietze. *Zeit. f. Kryst.* 19. L. 1891, p. 447.

87) Иод, добываемый из селитры, достигает 70 процентов мировой добычи иода, однако, его добывают (с 1872) в среднем не более как из 10% содержащей его руды. A. Raпc. *Revue scient.* P. 1920, p. 208. В 1916 г. добыто было приблизительно 1300 тонн.

88) A. Moesta. *Ueb. d. Vorkommen d. Brom-Chlor und Iodsilberverbindungen in d. Natur*, Marb., 1870, p. 42. J. Burgess. *Econ. Geol.* 6. 1911, p. 12, 12. 1917, p. 589. A Knopff. *ib.*, 13. 1908. p. 622. Обычно иодистые соединения в небольшом количестве попадают из поверхностных вод. Образование этих иодидов очевидным образом не имеет значения в их общей истории.

89) A. Hayes. *Journal of natur. history.* 3. Bost. 1840 — 1841, p. 279. J. Blake. *Amer. Journ. of Sc.* 44. N. H. 1843, p. 6. A. Hayes. *ib.* 47, N. H. 1844, 215. А. Гайес думает, что он нашел в селитряных месторождениях Тарапаки новый иодат натрия и хлороиодат магния. Его доказательства не достаточны. Требуется проверка новыми методами. Минералогия селитряных месторождений Ю. Америки все еще не достаточно изучена.

90) A. Chatin. *Journ. de chim. et de pharm.* (3) 17. P. 1850, p. 419, p. 18. P. 1850, p. 241. A. Gautier. *C. R.* 129. P. 1889, p. 1905. Bourcet. *De l'iode dans l'organisme.* P. 1900. До сих пор его иногда считают случайным (в растениях), напр., E. Winterstein. *Zeit. f. physiol. Chem.* 104, 1919, p. 56, чему противоречит совокупность известных фактов. Всеобщность в организмах — во всех их частях — от $8.5 \cdot 10^{-4}$ до 1.10^{-7} иода доказана многочисленными измерениями Т. Фелленберга и его помощников — Т. Fellenberg. *Biochem. Zeitschrift.* 139. B. 1923, p. 413 сл. 152.

1924. 129. 158 сл. T. Fellenberg et G. Lunde. Norsk. Geolog. Tidsskrift. 9. O. 1926, p. 60.

91) См. об истории открытия иода: С. Maignon. Revue scientif. (9); 20. P. 1913. p. 744. L. Toraude. B. Courtois et la découverte de l'iode. P. 1921.

92) A. Gautier. C. R. 128, P. 1899, p. 1078, 129, P. 1899, p. 9. В верхних слоях, кроме организмов, иод находится в смежных органических соединениях, богатых N, Mn и P. А. Готье считает, что они находятся в состоянии раствора. Возможно, что это организмы, остатки которых прошли через фильтры. Содержащие иод тела, несомненно, биогенные.

93) A. Chatin. Annuaire de la Société météorol. de France. 7. P. 1859. Ser. p. 35. Ср. T. Fellenberg. Bioch. Zeitschrift. 152. 1924. 145 сл. 170.

94) A. Gautier. C. R., 128, P. 1899, p. 647.

95) A. Gautier. C. R., 128. P. 1899, p. 66. C. R., 132. P. 1901.

96) Иод рассеян в минералах совершенно так же, как рассеян в них уран или радий. Новые точные работы Т. Фелленберга и его сотрудников доказывают с несомненностью, что он находится во всех минералах (от $5,10^{-6}\%$ до $3,8 \times 10^{-3}$) и что нет никакого соотношения между его количеством и химическим составом минерала. Совершенно одинаково и минералы вадозные, ювенильные, фреатические самого разного происхождения проникнуты иодом.

97) Форма рассеяния иода все же остается неясной. А. Шатен принимал существование эманаций — рассеянных паров иода в атмосфере. А. Готье доказывал, что наши современные методы позволяют находить в ней иод лишь в нерастворимых соединениях, вероятно, органических (иод в живом веществе). Однако, существуют явления, где свободный иод, несомненно, проникает в окружающую среду и между прочим в атмосферу. Так, в подобном состоянии он находится в термах (W. Skey. Trans. of New Zeal. Inst. 10. W., 1877, p. 445. J. Wanklym. Chem. New, 54, L. 1866, p. 300), выделяется некоторыми водорослями при жизни или после их разложения (М. Голенкинъ. Bull. de la Société des Natur. de Moscou. N. S. 8. M., 1894. стр. 258. Н. Kyllin, Archiv. f. Botanik., 14. S. 1915. N. 5. p. 2. Ср. В. Вернадский. I. с. П. 1908—1914, стр. 160, 743 pass. T. Fellenberg. Biochem. Centr., 152. B. 1924, p. 167). Иод находится в виде органического соединения, очень лабильного, чрезвычайно легко его выделяющего. M. Freundler. Rech. sur la variation de l'iode chez les alques mar. P. 1923, p. 6. Должно быть, иод уходит в виде свободных атомов.

98) В. Вернадский. О рассеянии хим. элем. Л. 1927. стр. 9.

99) Т. Нагпакс. Zeitschr. ür. physiol. Chemie. 24. S. 1898, 418. (иодоспокгин).

100) F. Hundeshagen (Zeitschr. für angew. Chemie. B. 1895, p. 473), в неполных анализах отмечает для Aplysinidae и Spongidae тропических стран до 14% иода.

101) С. Bernard. Leçons sur les phénom. de la vie. I. P. 1878, p. 67, s.

102) J. Morgeau. Oueuvres de F. Vicq d'Azyr. I. P. 1805, 41. Cf. F. Vicq d'Azyr. I. с. IV. P. 1805, p. 13, 81, 302, 308, 299, 302 II. P. 1805, p. 29.

103) G. Cuvier. Le règne animal distribué d'après son organisation. I. P., 1817, p. 12—13. Cf. G. Cuvier. Rapport histor. sur les progrès des sciences nat. depuis 1789 et sur leur état actuel (1808). Nouv. éd. P. 1827, p. 182—183. Ср. E. Russell, Form and function. L. 1916, p. 33.

104) F. Houssay. La morphologie dynamique. P. 1910, p. 11. Его же. Force et cause. P. 1920, p. 28. 183, 190. О. Ф. Гуссе и его идеях см. G. Matisse. Le mouvement scientifique contemp. en France. I., P. 1921, p. 60. G. Bohm. Le mouvement biol. en Europe. P., 1921, p. 121.

105) О Кулоне (C. Coulomb. 1736—1806) см. Delambre, Mémoires de l'Inst. 7. I. P. 1806. Hist. de la classe. p. 206. Раньше Кулона эту правильность нашел Пристлей. (H. Peacock. J. Priestley. L. 1919, p. 21).

106) Очень ярко выступают эти идеи в изложениях химиков до Лавуазье, напр., во французской литературе XVIII стол. развил их Венель (G. Venei 1723—1775) в любопытно историческом введении Encyclopédie method. Chimie. Он указывает на книгу Сенака (1723); сам Венель, видная фигура в кругу энциклопедистов, ничего не представлял собою как химик. Ср. E. Bloch. Isis. VIII. Br. 1926. p. 126 сл. (лит.).

107) Несколько данных об этом течении мыслей см. J. Merz, A history of Europ. Thought in XIX cent. I. L. 1904, p. 343, 354. Но история этих идей, связанных со всеобщим тяготением и с динамическими представлениями в биологических науках, очень мало известна. Органические молекулы Бюффона входят в рамки этих идей.

108) J. Brandt. Recueil des actes de l'Acad. d. Sc. de Saint-Petersbourg. Spb. 1832, p. 113.

109) C. Wolff. Von d. eigenthüml. u. wesentl. Kraft d. végétab. sowohl auch d. animal. Substanz als Erläuterung zu zwei Preisschriften üb. d. Nutritionskraft. Pet. 1789.

110) J. Sniadecki. Teorya jestestw organiczn. I. W. 1804. S. 210. Это замечательное произведение по глубине мысли. Оно сохраняет интерес до наших дней. Снядецкий не «натур-философ» (ib. S. 97, p. 119). Его труд (3 тома) был составлен между 1792 и 1804 гг. J. Sniadecki (l. c. I. 1804, p. 3—6). Труд Снядецкого был переиздан (без изменений) в 1838, 1861 и 1905 гг. Из многочисленной литературы о Снядецком см. J. Wrzosek. J. Sniadecki. I—II, Kr. 1910. I—II, 1910 (библиография, II, 339).

111) Критика аналогичных идей: G. Cuvier, Mémoires de la classe. des sc. mat. et phys. de l'Institut Nat. de France. 7. P. 1806. Histoire de la classe, p. 76. S.

112) Мы находим бессознательный возврат к этим идеям и в биологии, напр., у Ф. Гуссе, когда он говорит в 1915 г.: «Аппетит в сущности есть сродство». F. Houssay. Force et cause. P. 1920, p. 179.

113) По мнению Аррениуса (S. Arrhenius. Lehrbuch d. kosm. Physik. II., L. 1903, p. 475), 1.9×10^{15} метр. тонн. Это число мне кажется минимальным. Принимая количество угольной кислоты по Крогу (A. Krogh. Meddelelser om Grenland, 26, K. 1904, p. 416) как 2.4×10^{12} метр. тонн, мы получаем для кислорода 2.1×10^{15} метр. тонн. Это скорее максимум.

114) Принимая в среднем 6 куб. сант. для свободного кислорода в морской воде (уд. вес 1,027, количество 1.4×10^{18} метр. тонн., вес одного литра 1.4292 граммов), Стивенсон (J. Stevenson. Philos. Magaz. (5) I, L. 1900, p. 430) считал это количество приблизительно равным атмосферному.

115) W. Halbfass. Das Wasser im Wirtschaftsleben der Menschen. Fr. a. M. 1911, p. 6. Urania. VI. Wien. 1913. № 10 (по автореферату Intern. Revue f. ges. Hydrobiol. 6. L. 1913—1914, p. 553).

116) См. также G. Stoney, Philos. Magaz. (5), 47. L. 1899, p. 566.

117) В. Вернадский. Опыт, I. П. 1914, 624.

118) E. Allen. Journal of Franklin Inst. 193. 1922, p. 62 сл.

119) T. Jaggard. Americ. Journ. of Sc. (4) 44, N. H. 1917. A. Day Some causes of volcanic activity. Phil. 1924 (Franklin Inst).

120) Мне кажется действие «растворенного» хлорофилла, указываемого в некоторых организмах, экспериментально не изучено.

121) Th. de Saussure. Recherches sur la végétation. P. 1804, pass.

122) В. Вернадский, I. c. I. 1914, стр. 649 и сл.

123) В. Вернадский, I. c. I. 1914, стр. 636 и сл.

124) Об истории свободного кислорода в земной коре см. В. Вернадский, I. c. I. 1914, стр. 600 сл. 772, 780. История минералов земной коры. I, ч. Л. 1926, стр. 223.

125) G. Carruthers. Nature, 41, L. 1890, p. 153.

126) Г. Карутерс дает 24.420 миллиардов индивидуумов (2.4×10^{12}) и: «weight of mass 42.580 millions of tons». Если взять «billions» в смысле миллиона миллионов, что получится полное соответствие.

127) В. Вернадский. I. c. I. 1914, 139.

128) Д. Шарпъ. Насѣкомые. Перев. съ прим. Н. Кузнецова. II. 1910, стр. 174.

129) H. Pratt. Science (2), 35, N.—Y. 1911, p. 467.

130) Van Tieghem. Traité de botan., Ed. Constantin, 12, P. 1918, p. 633.

131) Проф. Н. И. Кузнецов (1922) насчитывал всего 155 000.

132) Эти вопросы рассмотрены мной в более углубленной форме в моей книжке: «Биосфера», Л. 1926.

133) W. Crookes. Annales de chim. et de phis. (5), 19, P. 1880, 195. Эта идея принадлежит Фарадею (1816).

134) В предисловии к русскому переводу работы Мона. Монъ. Метеорологія. СПб. 1876, стр. X и XVI.

135) E. Pollaci. Gaz. chim. ital., 32, R. 1902, p. 83. Кроме тринадцати элементов, указанных Поллачи, нужно добавить редкие земли, найденные в Каррарском мраморе проф. Cossa, а также Zn, Mn и Si, находящиеся, по мнению Клатта и Ленера, во всякой извести, ими изученной.

136) P. Lenard u. V. Klatt. Annalen d. Physik (3), 38, L. 1899, p. 100. s (4), 15, 1904, p. 665.

137) H. Geitel. Handb. d. Radioactiv. I, L. 1920, p. 431.

138) Rouelle et d'Arcet. Expériences faites d'après celle que M. Sage a communiquées à l'Académie Royale des Sciences le 23 mars 1778 sur la

quantité de l'or qu'on retire de la terre végétale entre autre et des cendres des végétaux, P. s. a. (1779). Они доказали, что это количество гораздо меньше, чем думал. С а ж, но они нашли золото в пепле виноградных лоз в почве Франции.

139) U. Hjarne. Tentaminorum chemic. in R. Laboratorio Hafn. perfect., t. II. Ed. J. Wallerius. S. 1753, p. 37—38 (труд, написанный в 1738 г.).

140) Генкель, Беккер: «Все, так сказать, придерживаются мнения, что золото по большей части находится или в земле, или в растениях скорее потенциально, чем как природное золото и в особенности в очень малых количествах» (Rouelle et d'Arcet, l. c., 1779, p. 2).

141) T. Thomson. History of R. Society. L. 1812, p. 209; ср. H. Davy. Elements of chemic. philos., l, l. L. 1812, p. 337.

142) H. Talbot. Chem. News, 3, L. 1861, p. 261 (перепечатка работы 1826 года); ср. G. Kirchhoff. Ann. d. Phys., 118, L. 1862, p. 97.

143) G. Kirchhoff u. R. Bunsen. Ann. d. Phys., 110, L. 1859 p. 169.

144) J. Forchhammer. Philos. Trans., 155, L. 1865, p. 203.

145) См. примеч. 79.

146) C. Claret de Fleurieu. Voyage autour du monde de M. Marchand, IV, P. An. VIII, p. 9.

147) E. Süss. Entstehung d. Alpen, L. 1875. Antlitz der Erde, L. 1883—1909 pass.

148) W. Gibbs. The scientif. papers, I, L. 1906. p. 553. Ср. интересные замечания у L. Henderson. The Order of Nature. C. (Mas.), 1917, p. 124 s.

149) В. Вернадский. Биосфера, Л. 1926, стр. 85; История минер. земной коры, I, 2, Л. 1927, стр. I и XVIII.

150) О лучистой оболочке см. *ib.*, 1926 стр. 85, 101.

151) G. C. Schuchert. The evolution of the Earth and its inhabitants, publ. by Yale Univ., N. H. 1918, p. 61—63.

152) В. Вернадский. Биосфера, Л. 1926.

153) Для термодинамических оболочек земной коры и планеты вообще господствуют сейчас представления, не отвечающие фактам. Думают, что всегда при движении к центру планеты (т.-е. при увеличении давления) увеличивается температура. В действительности такой пропорциональности нет. Неизменность с направлением сохраняется только для давления,— оно растет по мере движения к центру планеты (и обратно). Температура следует за этим лишь местами. Возможно, что в свободной атмосфере, выше 1000 км. температура высокая (по Линдеману—К. L. Lindemann. Nature. 118, L. 1926. p., 195— она может достигнуть 300° абс.). Подымаясь от земной поверхности, minimum достигается на высоте около 9—12 км. Выше она, несомненно, повышается. Точно также она должна или понижаться или оставаться неизменной (если нет в планете какой-нибудь остаточной теплоты, что не ясно) за пределами радиоактивной лучистой оболочки (за пределами базальтово-дунитовой оболочки).

154) F. Pošepny. The genesis of the ore deposits, Trans. of Americ. Inst. Min. Eng., 22 N.—Y. 1893, 149; S u e s s. Verhandlungen d. Versammlungen d. Gesellschaft deutscher Naturforscher u. Aerste, 74. Karlsbad 1902,

134, 141; для газов R. Delkeskamp. Zeitschr. f. prakt. Geolog. B. 1909, p. 33. Я употребляю такие термины, обобщая их по отношению ко всем химическим реакциям и их продуктам в различных термодинамических оболочках.

155) P. Lenard u. V. Klatt. Annalen d. Physik (3), 38, 1, 1887; 100—101 (4), 5; 1904, 227, 643, 665.

156) Так луяврит из Румы (агрегация в нефелиновом сиените) содержит 2.76% MnO согласно анализу Пизани (A. Lasgoix. Les syenites néphélinitiques de l'ach. de Los. P. 1911, p. 38, 105). В метаморфических и измененных породах количество марганца еще больше—до 10.36% Mn (гондит из Индии). L. Fermor. Mem. Geol. Surv. of India, 37. C. 1909 349.

157) Количество марганца больше в колумбитах (ниобаты), чем в танталитах (танталаты). W. Hidden. Amer. Journ. of Sc. (5), S. N. H. 1922, p. 299.

158) L. Fermor. The manganese ore deposits of India, C. 1909, p. 297 (Mem. Geol. Surv. of India, 37), p. 297. Кадурит—«массивная» порода, описанная Л. Фермором (l. c., p. 243 s.), повидимому, вторично-измененная, метаморфическая.

159) Он всегда встречается в фумаролах высокой температуры вулканов. Ср. Ch. Sainte-Claire-Deville, Bull. Soc. Géol. (2), 14, P. 1857, 262.

160) Ch. Sainte-Claire-Deville, C. R., 54, P. 1862, p. 880—881.

161) J. Vogt. Zeitschr. f. prakt. Geol., B. 1906, p. 232; J. Vogt. Om mangarik sjömah i storsjoen (Norg. Geol. Und. Aarbok, VI, 1905), C. 1915, p. 29; F. Beyschlag, P. Krusch u. J. Vogt. Die Lagerstätten d. nutzbaren Mineralien, 2, St. 1921, p. 584. s.

162) H. Washington. Journal of the Frankl. Inst. 190. W. 1920, p. 766. По новому исчислению Клерка и Вашингтона (F. Clarke a H. Washington. The composition of the earth's crust., W. 1924, p. 5) — 0.3%.

163) F. Clarke u. H. Washington. Proceed. of Nation. Acad. of Sc. 8, W. 1922, p. 114 s.

164) H. Washington. Americ. Journ. of Sc., (4), 38, N. Y, 1914, p. 90. H. Washington, l. c., 1920, p. 766. H. Washington a. F. Clarke, W. 1924. p. 5.

165) Важно было бы проверить старые определения, так как указания больших количеств марганца очень редки. Обычно, применяя более точные методы анализа, подходят к его количествам, не превышающим нескольких десятых долей процента. Из имеющихся указаний больших количеств следует отметить, что породы Soufrière (сульфатары) в Антильских остр. содержат до 2, 46% MnO, согласно анализам К. Сент-Клер-Девилля (Bull. Soc. Géol. de. Fr. (2), 8, P. 1850; 2, 1851, p. 45). Более новые анализы М. Рауля дают всего 0,10% и 0,16% MnO (по любезному указанию А. Лакруа), но, может-быть, это не те породы, которые изучал Сент-Клер-Девиль. Ср. еще A. Streng, Ann. der Phys. 90, L. 1853, p. 120,—базальт с 1,32% MnO.

166) Следовало бы различать ряд разновидностей, богатых марганцем—марганцовые роговые обманки, марганцевые пироксены, может-быть, мар-

ганцовые слюды. Повидимому, наиболее богаты им роговые обманки. Роговые обманки из амфиболита из Багии, содержащие до 1.59 % Мп, несомненно, представляет новую разновидность. Ср. H. Washington, *Am. J. Sc.* (4), 38, N. H. 1914, p. 88.

167) A. Lacroix. Les syénites néphélin. de l'archip. de Los. P. 1911, p. 9. s. (Nouv. Arch. du Musée d'hist. nat.) (3); F. Zambonini. Doeller's Handbuch d. Mineralch. III, L. 1918, p. 68.

168) Существуют природные карбонаты, кажущиеся белыми. О цвете марганцевых соединений см. F. Ephraim. Gmelin-Kraut's handb. d. anorg. Chemie. III, 2 H. 1908. p. 235—236.

169) Характер марганца в марганцовистых лимонитах неизвестен. Повидимому, он не всегда находится в них в механической подмеси, но входит в химическую формулу.

170) J. Vogt. Om mangarik sjömaln, Chr. 1915 p. 6. (Norg. geol. Und. Aarb., 6).

171) J. Murray a. Renard. Challenger Report. Deep sea deposits. L. 1891, p. 341; J. Murray a. R. Irvine. Trans. of R. Soc. of Edinb., 37, E. 1895, 721; W. Gümbel Sitzungsber. d. math.—naturw. Cl. d. Acad. d. Wiss. zu München, 8, M. 1878, p. 197; J. Murray a. J. Hjort. The depths of the Ocean; L. 1912, p. 156; A. Agassiz. Memoirs of Mus. of compar. Zool. at Harvard, 33, C. 1906, p. s. (Любопытна карта.). C. Chun. Aus d. Tiefen d. Weltmeeres, 2 Aufl., J. 1903, 162; J. Murray a. E. Philippi. Wiss. Ergebn. d. deutsch. Exped. «Valdivia», 10, 4, J. 1908, p. 187. s; Я. Самойлов и В. Титов. Труды Геолог. Музея Акад. Наук, 3. П. 1922. стр. 29 сл. (библ.); J. Murray. Trans. of R. Soc. of Edinb. 51.1. E. 1923—1924. p. 252; Я. Самойлов и Т. Горшкова. Труды Пловуч. Морек. Научн. Института, № 14, М. 1924, стр. 29.

172) F. Clarke. Data of geochemistry, 5 ed., W. 1924, p. 518. Анализ В. Гильденбрандта и Е. Сюлливана из смеси 51-й станций «красной глины»

173) Они впервые были найдены Н. Андрусовым. См. Я. Самойлов и В. Титов. Труды Геолог. и Минер. Муз. Акад. Наук. 3. П. 1922, стр. 61 сл. (библ.).

174) Впервые были найден А. Норденшильдом. См. Я. Самойлов и В. Титов, I. с., 1922, стр. 90 сл.

175) Я. Самойлов и В. Титов. L. с., 1922, стр. 80 сл.; J. Vogt. Zeit. f. prakt. Geologie, V. 1906, p. 217 s.

176) J. Buchanan. Proceed. of R. Soc. of Edinb., 18, E. 1890, p. 18.

177) E. Naumann, Södra och mellersta Sveriges sjö och myrmalmer, St. 1922 (библ.); J. Vogt. Om mangarik sjömaln i Storsjoen, 1915 (Norges Geol. Unders. Aarbok. VI).

178) J. Vogt. L. с., 1906, 222; B. Aarnio. Geotekniske Meddelanden, Geolog. Kom. i Finland, 20. 1. 1918. p. 40 s. J. Vogt. Om mangarik sjömaln, C. 1915, p. 33 (Norges Geolog. Unders. Aarbok, VI).

179) П. Борисовъ. Геолог. очеркъ и полезн. ископ. Олонецк. губ. П. 1910; А. Иностранцевъ. Геолог. очеркъ Повѣнецкого уѣзда, П. 1877, стр. 714. М. Кругловский. Труды Центр. упр. промышл. развед. 3. М. 1923. 54 сл.

- 180) P. Griffith. Trans. of Amer. Inst. Min. Eng., 21, N.—Y. 1893. 974 s. (в Квебеке).
- 181) F. Katzer Oester. Zeitschr. f. Berg. u. Hüttenw. 46, W, 1898, p. 45.
- 182) А. Набокихъ. Строеіе и происх. разн. гориз. почвъ Ю. Россіи, П. 1911; Его же. Intern. Mitteilungen üb. Bodenkunde, 4. 1914. p. 216; S. Dulugea. Le manganèse dans les sols de la Roumanie; P. 1914, p. 79.
- 183) L. Fermor, L. c., 1909 p. 380 s.
- 184) W. Kelley, L. c. The Journal of ind. a. engin. chemistry, 1. Ed. 1909, p. 533. Эти почвы не могут быть объясняемы вулканическим их происхождением, так как вулканические породы никогда не дают таких концентраций марганца. В частности таких концентраций нет и на Гавайских островах, судя по сводке Г. Вашингтона (H. Washington. Chem. Analys. of. igneous focus. W. 1917). На нахождение здесь конкреционных образований указывает и то, что эти почвы выделяют хлор при действии HCl (т.-е. содержат MnO_2).
- 185) J. Murray a. A. Renards. Dead sea deposits. L. 1891, p. 366 (Challenger Rep.).
- 186) Для черноземов этот процесс не изучен. См. во французском издании моей книги. La Géochimie, P. 1924, p. 86—87.
- 187) F. Beyschlag, P. Krusch u. J. Vogt. Die Erzlagerstätte, I, St. 1914, 215.
- 188) К. Богданович. Производительные силы России, IV 3, П., 1920, стр. 9 сл.
- 189) Н. Соколовъ. Труды Геолог. Комит. 18, 2, П. 1901, стр. 90 сл.; К. Богданович, I. c., 1920, стр. 3 сл.
- 190) N. Dale. Proceed. of the Americ. philos. Soc., 54, Ph. 1915, p. 371 s. Н. Дэль принимает эти конкреции родохрозита за первичные (стр. 445.). Однако, его точное описание этого месторождения ясно указывает на шедшую здесь химическую метаморфизацию морских слоев без изменения их морфологического характера. В фреатических областях родохрозит очень часто заменяет вад.
- 191) J. Pardie. Bull. of Un. St. Geolog. Survey, 725, W. 1922, p. 232 s.
- 192) J. Vogt. Zeit. f. prakt. Geol., B. 1906, p. 228.
- 193) О марганце в керченских рудах см. Я. Самойлов, I. c., 1922, p. 73—74. Количество железной руды в окрестностях Керчи (плиоценовые слои), повидимому, того же порядка, как и в Лотарингии и в Люксембурге (мезозойские отложения). Новейшие исчисления (немного менее миллиарда тонн по К. Богдановичу, I. c., IV, 2, П. 1920, стр. 20) должны быть увеличены согласно новым исследованиям. К сожалению, многочисленные анализы оолитовых руд Лотарингии не указывают количества находящегося в них марганца. Ср. L. de Launay. Gites minér. et métal., 2, P. 1913, p. 489—490; L. Saueux. Les minérals de fer de Lorraine. P. 1919. Есть ли он в этих рудах в заметных количествах? О необходимости увеличить запасы руд железа, богатых марганцом, в Керченском районе см. В. Лучицкий. Труды Центр. упр. промышл. разв. I. M. 1922, стр. 36.

- 194) J. Walther. *Abhandlungen d. math. phys. Cl. d. Sächs. Ges. d. Wiss.* 16, L. 1891, p. 456 s.; J. Walther. *Das Gesetz d. Wüstenbildung*, B. 1900, p. 21 s.; Cp. C. White. *Amer. Journ. of Sc.* (5) 7. N. J., 1924, p. 413 (до 77.5% MnO_2).
- 195) L. Fermor, l. c., 1909, p. 395.
- 196) L. Fermor, l. c., 1909, p. 380 s.
- 197) E. Harder. *Bull. of U. S. Geol. Soc.* 427. W., 1910. p. 14.
- 198) H. Miser. *Bull. of U. S. Geol. Soc.*, 660. W., 1918, p. 65 s. (библ.).
- 199) H. Molisch. *Die Pflanzen in ihren Beziehung z. Eisen*, J. 1892, 71; Его же. *Die Eisenbakterien*, 1910, 13 s.
- 200) Schorler. *Centr. Bakter.* (2), 12, J. 1904, 684 s.
- 201) D. Jackson. *Trans. of Americ. Microsc. Soc.*, 23, Line, 1902, p. 32 s.
- 202) M. Beijerinck. *Folia microbiol.* 2, D., 1913. p. 125 s.
- 203) H. Zikes. *Centralbl. f. Bakt.* (2), 43. J, 1915, p. 541; R. Lieske, ib. 49. 1920, 413 s.; S. Winogradsky, ib. 57, J., 1922; cp. N. Chólodny. *Die Eisenbakterien*. B. 1926.
- 204) J. Buchanan. *Proc. of R. Soc. of Edinb.*, 18, E. 1892, p. 18.
- 205) Н. Соколовъ. *Труды Геол. Ком.*, 18, 2, Пет. 1901, стр. 47.
- 206) J. Murray a. E. Philippi. *Wissensch. Ergebnisse d. deutschen Tiefsee Expedition «Valdivia»*. 10, 4, J. 1908, p. 190.
- 207) Я. Самойлов и Титов. *Труды Минер. и Геолог. Музея Академии Наук*, 3. П. 1922, p. 106.
- 208) C. Scheele. *Kg. Sv. Vet. Akad. Handlingar*, 35. S. 1774. p. 190.
- 209) Cp. F. Humboldt. *Florae freibergensis specimen*, B. 1793, p. 134.
- 210) A. Chevallier и E. Cottureau (*Ann. de l'hyg. publ.*, 42. P. 1849, p. 160 s.) дают историческую сводку старых наблюдений.
- 211) Th. de Saussure. *Recherches chimiques sur la végétation*. P. 1804, p. 303.
- 212) G. Carradori, *Giornale di fisica, pub. da Brugnattelli*, 5, Pisa. 1812, p. 365. Работа Г. Каррадори была напечатана в *Giornale scientif. eletterar di Pisa*. I. P., 1810, 214, и в пятом издании его *Del fertilita della terra*, Fir. 1815, p. 13, которых я не мог достать. Эти исследования при- мыкают к другим современным очеркам, напр., А. Гумбольдта. Cp. Einhof (1810). *Bibliothèque Britannique, Agriculture anglaise*, 17, Gen., 1812. p. 411.
- 213) F. Würzer. *Schweigger's Journal f. Chemie u. Ph.*, 58, Halle, 1830, 481.
- 214) Sarzeau. *Journ. de pharm.* (3) 16. P. 1832, p. 657.
- 215) Fürst zu Salms-Horstmar. *Journ. f. prakt. Ch.* 46, L. 1849, p. 202 s.
- 216) J. Forchhammer, P. A. 95, L., 1855, p. 84 s. *Oversigt af Danske Vidensk. Selsk. Forh. Kj*, 1855. 394, 398.
- 217) Gorup Besanez. *Lied. Ann.* 100, L. 1856, 106, 118; L. 1861, 220. Он считал его необходимым для животных. G. Bertrand. *Revue génér. de chimie*, 8. P., 1905, p. 213.
- 218) D. Leclerc. C. R., 75, P., 1872, p. 1213.

219) F. Dunnington. Journ. of the Americ. Chem. Soc., 2, N. - Y 1878, p. 3—4.

220) E. Maumené, C. R., 98, P., 1884, 1416; Bull. Soc. Chim., N. S. 42, P. 1884, 305.

221) A. Griffith. C. R., 114, P. 1892, 840; 131, P. 1900, 422.

222) P. Pichard. C. R., 126, P. 1898, p. 1888 s.

223) G. Bertrand et M. Jauvilliers, Annales de l'Inst. Pasteur, 26, P. 1912, 29, 291; G. Bertrand et Rosenblatt. Bull. Soc., Chim., de Fr. (4) 31—32, P. 1922, 125; G. Bertrand et Rosenblatt. Annales de l'Inst. Pasteur. 35. P. 1921, 821; G. Bertrand et R. Vladesco. Bull. Soc. Chim. de Fr. (4) 29—30. P. 1921, p. 915; G. Bertrand. Revue génér. de ch., 8, P. 1905, 205; G. Bertrand et F. Medigréceanu, Bull. Soc. Chim. de Tr. 11, P. 1912, 665. C. R., 154, P. 1912, 941, 1450, 155, P. 1912, p. 82. Annales de l'Institut Pasteur, 27, P. 1913, p. I s.

224) F. Jadin et Astruc. C. R., 155, P. 1912, 406; 156, P. 1913. 2023; 159, P. 1914, 268; Journ. de pharm. et chim., 105, P. 1913, 155, Revue Scient., 54, 1916, 589.

225) H. Bradley. Journ. of biol. chem., 8. Bait., 1910—1911, 237.

226) E. Успенский. Журналъ опытной агрономіи, 16, П., 1915, 300, 450.

227) A. Phillips. Papers of the dep. of marine biology. 11, W., 1917, p. 92 (Carnegie Public., 251).

228) D. Wester. Biochem. Zeitschr., 118, B., 1921, 160. Pharmaceut. Weekblad., 59, A., 1922, p. 52. Archiv d. Pharm. 261, 1922, p. 1.

229) В. Вернадский. Химич. состав жив. вещества. П., 1922.

230) C. Petersen. Report of the Dan. biol. station, 20, Cop. 1911, p. 21. Cp. ib. 20. C. 1915.

231) К сожалению, не существует полных точных анализов организмов, содержащих марганец и им богатых. Даже новые численные определения марганца даются часто лишь для золы, при чем ее количество по отношению к живому организму всегда сомнительно, например, в анализах Жодена и Астряка потеря от прокаливания до 120° Ц. приравнивается воде. Хотя новые анализы Жодена, Астряка, Бертрана, Вестера, Розенблат, несомненно, доказали присутствие марганца во всех растениях, они не дают нам ясного понятия о его численном распределении. В разных видах мы большей частью имеем анализы различных частей одного и того же организма, а не анализ живого вещества. Было бы необходимо иметь точные анализы марганца в организмах, богатых этим металлом: в ферробактериях, диатомеях (например, Сосопеае), жгутиковых (например, Anthophysa vegetans O. Müll), зостерах, гидронаядеях (например, Тара), плаунах, водорослях (например, Padina), урединых, хвойных, лишайниках (о последних см. Е. Успенский, I. с. 1915, стр. 327). Следует предполагать, что существуют растения, богатые марганцем, так как встречаются почвы, содержащие большие количества этого металла, покрытые флорой, не изученной не только химически, но часто и морфологически. Марганец в почвах обыкновенно не превышает $n \times 10^{-2}$ — $n \times 10^{-1}$ их процента, но существуют, как мы видали, почвы, количество марганца в которых

доходит до 7% (стр. 69). В то же время есть растения, живущие на марганцевых рудах, к сожалению, совершенно не изученные, а между тем они, несомненно, могут поглощать из них много марганца. О растительности на выходах марганцевой руды в нагорье Ргани в Чиатури см. С. Сахелашвили. Къ геологии и петрографии Чиатурскихъ марганцевыхъ месторождений, 1917, отд. 10—11. Животные организмы, повидимому, менее богаты марганцом, но они еще менее изучены.

232) M. Beijerinck. *Folia microbiologica*, 2, Delft, 1913, p. 128 s.

233) D. Jackson. (Trans. of Amer. Microscop. Soc., 23. L. 1902, p. 36) дает для высушенных охристых осадков *Crenothrix*, содержащих марганец (= *Cren. polyspora* согласно Б. Шорлеру (I. c., 1904, стр. 684) 23, 8% Мп.; Бейтин и его помощники (A. Beythien, H. Hempel u. L. Kraft. *Zeit. f. Unters. d. Nahr. u. Genussmit.*, 7, B. 1904, p. 218) нашли для высушенных колоний («stark inkrustierte *Crenothrix*faden») до 36% Мп (49.98% Mn_3O_4). С геохимической точки зрения в живое вещество *Crenotrix* следует включить биогенно выделенные им вады.

234) Напр., G. Bertrand. *Revue génér. de ch.*, 8, P., 1905, p. 211; J. Murray u. E. Philippi. *Wissensch. Ergebnisse d. deutsch. Tiefsee Exped. «Valdivia*, 10, 4, J. 1908, p. 190; Я. Самойлов и А. Титов I. c. 1922, p. 106.—Работы последнего времени доказали, что железомарганцевые и железные конкреции в соленых озерах и морях образуются бактериями. Б. Перфильев доказал это для соляных озер и Черного моря, проф. Буткевич для железо-марганцевых отложений Белого моря. См. Б. Перфильев. «Курортное дело» М. 1923, № 11—12, стр. 8, 1925.

235) S. Winogradsky. *Botan.-Zeitung.*, B. 1888, p. 261; *Centralbl. f. Bacteriol.* (2), 57, J. 1922.

236) M. Beijerinck. *Folia microbiol.* 2, D. 1913, p. 126.

237) H. Swoboda. *Carinthia*, 2, 1902, 192.

238) W. Prantl, *Gmelin's Kraut's Handb. d. anorg. Ch.* I. Heid. 1907. p. 47, 142; A. Miolati. *Abegg-Auerbach's Handb. d. anorg. Ch.* 2. L. 1913, p. 686—687.

239) В. Вернадский, I. c., 1, II. 1914, стр. 688, 775 (библ.); его же. *Истор. минералов земн. коры*, 1, 2, Л. 1927, стр. 230.

240) F. Czarek. *Biochemie d. Pfl.*, 3, J. 1921, p. 138 s.

241) Такая геохимическая роль марганца в биосфере была уже в 1847 году указана К. Бишофом. См. С. Bischof. *Gelehrte Anzeig., Kgl. Akad. Wiss. München*. 1847, p. 134. Из новых G. Bertrand, I. c. 1905; Я. Самойлов и А. Титов, I. c., 1922, p. 56.

242) J. Murray u. R. Irvine. *Transactions of Edinb. Royal Society*, 37, E. 1895, p. 725. Необходимо иметь новые, более точные определения.

243) J. Murray. *Scottish geograph. Journal*, 3, E. 1887, 77.

244) F. Clarke. *Data of geochemistry*, 5-th ed., W. 1924, p. 118. Он дает 2.73×10^9 метр. тонн для всей массы разведенных солей, ежегодно приносимых реками. Это немного более половины цифры, данной Мёрреем.

245) B. Aarnio. *Geotekn. Meddel. Geolog. Kom. i Finland*, 20, H. 1918, 59 s.

246) O. Aschan. *Zeit. f. prakt. Geol.*, B. 1907, 57. Он допускает деятельность микроорганизмов.

247) W. Francis. Proceed. of R. Soc. of Queensland, 32, 1920. Мне эта работа известна лишь в извлечении.

248) W. Mason. Ch. News, 61, L. 1890, 123.

249) C. Young. Trans. of Kansas Acad. of Sc. 23—24. Top. 1911, 38—39.

250) J. van Bemmelen. Zeit. f. anorg. Ch., 22, H. 1908, p. 337.

251) G. Bertrand. Revue génér. de chimie, 8, P. 1905, p. 209. V. Lindgren. Mineral deposits, 2-nd ed. N.-Y. 1919, p. 272—273. F. Clarke, l. c., 1924, 539—542.

252) И. Богачевъ. Минеральные источники Забайкалья. М. 1905, 15.

253) F. Clarke. Data of geochemistry. 5-th ed., W. 1924, p. 196, 190.

254) F. Clarke. l. c., 1924, p. 30.

255) Cp. Van Hise. Treatise on metamorph. W. 1904. p. 989. 1199.

256) J. Vogt. Zeitschr. f. pr. Geol., B., 1906, 228.

257) Cp. L. de Launay. Gites minéraux et métal., 2, P. 1913, p. 534.

258) P. Lenard u. V. Klatt. Annalen d. Physik (4), 15, L. 1904, p. 227, 665.

259) Эти ученые не дают точных указаний о минералах и породах, из которых они извлекли свой кальций. Неизвестно, изучали ли они кальциевые силикаты и алюмосиликаты. Они говорят, что имели в распоряжении известь всякого происхождения.

260) Они во многих случаях наблюдали максимальную фосфоресценцию, соответствующую minimum 0,002 Мп в CaS. Беря $2 \times 10^{-2} \%$ Мп в природном Са за максимум и количество кальция в земной коре (табл. II), мы получаем указанные в тексте числа.

261) T. Watson a. R. Beard. Proceed. of U. S. Nat. Museum, 53, W. 1917, p. 555, 559.

262) L. Teisseranc de Bort. C. R., 134, P. 1902, p. 987. C. R., 148, P. 1909, p. 593. Cp. R. Assmann. Sitzungsber. d. preuss. Akad., B. 1902, 2, 495 s.

263) C. Schuchert. The evolution of the Earth and its inhabitants, N.-V., 1918, p. 41 (Yale Univ).

264) H. Washington. Bulletin of the Geolog. Soc. of America, 33, W., 1922, p. 403. W. Bowie. Americ. Journ. of Sc., (5) 2, N. H., 1921, p. 5.

265) Быстрое изменение наших знаний в этой области лучше всего видно потому, что сводки 1923—1924 гг. уже не дают вполне точной картины явлений. О земле, как целом, лучшую картину с планетной точки зрения, мне кажется, дают критические обзоры: L. Adams a. E. Williams p. Smithson. Report f. 1923, W. 1924, p. 241; A. Holmes. Geolog. Magazine, 63, L. 1926, p. 322. H. Jeffreys. Nature, 118, L., 1926, 443. J. Joly. Surface history of the Earth, L. 1925; A. Holmes. Philos. Mag. (67), 1, L. 1926. p. 172.

266) R. Oldham. Quart. Journ. Geol. Soc. 82, L. 1926, 67.

267) Базальтов оболочку некоторые исследователи заменяют эклогитовой. Ниже ее допускают перидотитовую (Гольмс). В общем важно едва ли возбуждающее сомнение нахождение под гранитной оболочкой тяжелых горных пород (3.0—3.3 уд. веса). Базальтовые породы (в широком смысле) реально наблюдались в условиях, допускающих такое научное толкование их генезиса.

268) Состояние наших знаний о глубинах «внутренности» земли лучше всего характеризуется фактом одновременного существования в науке всех возможных представлений. Внутренность земли представляют себе жидкой, твердой или газообразной; ей приписывают температуру выше 1200° и температуру ниже 0° . О современном состоянии знаний см. L. Adams a. E. Williams o. l. c., 1924; A. Holmes. l. c., 1926; В. Вернадский. Биосфера, Л. 1926, стр. 72 сл. В. Вернадский. Ист. минер. земн. коры, 1, 1—2, Л. 1924—1926. 25, II—III. В последней работе указана литература. Ср. прим. 265.

269) F. Agago. Oeuvres, 2 éd. par J. Barraï, 1, P. 1865, p. 350—351 (биография Фурье). Эти идеи встретили живую оппозицию задолго еще до работ Фурье, в XVIII в., например, со стороны Роме-де-Лилль. Ср. De Romé de l'Isle. L'action du feu central démontrée nulle à la surface du globe, 2-me éd. P. 1781 (1-е издание 1779 г.).

270) За три года (1924—1926), протекших после выхода французского издания этой книги, резко повысилась, в связи с работами Джоли, Гольмса и других и изучением внутренних частей планеты оценка этих идей, их значения в геологии. Представления об энергии внутренней земли, как проявлению теплоты когда-то расплавленной планеты, исчезают и уже являются историческим пережитком. Создаются новые космогонии, основанные на изменениях атомов. См. J. Jeans. Nature, L. 1926, Suppl.

271) Мы не можем сейчас ясно выявить себе ту энергию, какую солнце получает от окружающих его небесных светил. Очень возможно, что оно получает от них не меньше энергии, чем планеты его системы получают от него. Может-быть, солнечная энергия есть в некоторой мере энергия звезд или туманностей, передаваемая нам солнцем.

272) В. Вернадский. Биосфера, Л. 1926, стр. 14.

273) F. Clarke a. H. Washington. The composition of the Earth's crust. W. 1924 (U. S. G. S. Profession. papers, № 127).

274) В. Вернадский. Биосфера. Л. 1926, стр. 13.

275) С. Рауне. Proceedings of Nation. Acad. of Sc., XI, W. 1922, 192.

276) А. Ферсман (А. Ферсман. Химич. элем. земли и космоса. Л. 1924, стр. 146) связывает это с особым строением ядра кремния аналогично Fe и Mg.

277) Проблема об особом положении SiO_2 , в земных явлениях занимала уже Фарадэя (1837). См. Benpe Jones. The life a. letters of Faraday, 11, L. 1870, p. 80.

278) F. Clarke. Bulletin of U. S. Geol. Surv., N., 228, W. 1904, p. 19—20. В своих данных геохимии (Data of geoçh. W. 1924, p. 33) он определяет содержание кварца в массивных породах в 12% . Принимая во внимание сланцы и песчаники (по его указаниям), мы получим $12,8\%$ свободного кремнезема во всей земной коре.

279) F. Clarke. l. c. 1924, p. 33.

280) SiO_2 чрезвычайно устойчив. При обыкновенной температуре лишь HF разрушает структуру Si—O. A. Stock. Ber. d. Deutsch. Chem. Ges., 50, B. 1917, p. 176. Ср. о химии кремния A. Stock. Zeitschr. f. Electroch. 32. B. 1926. p. 347.

281) A. Stock. l. c. 1917. p. 171.

282) Очень характерно, что простая молекула SiO_2 неизвестна. Мы всегда имеем полимер $\text{Si}_n \text{O}_{2n}$ (Д. Менделѣевъ. Основы химіи, 6-е изд., П. 1896, стр. 500). Ему приписывают формулы Si_2O_4 — Si_6O_{12} (A. Stock. Berichte d. deutsch. chem. Ges., V. 1917, 179). Пары SiO_2 , которые наблюдаются в природе и в наших лабораториях, должны тоже отвечать полимерам SiO_2 .

283) Эти простые представления возбуждают иногда сомнения. Исследование радиограмм приводило сперва к более сложному строению оливина. (Bern dt. Abhandl. d. Sächs. Ges., 38, L. 1921). В теоретических построениях Я. Якоба также приписывается оливину совершенно иное строение. (J. Jacob. Acta chemica helvetica, 3, Bas. u. Gen., 1920, p. 669 s.). Однако, Якоб, принявший теорию Вернера за основу собственной, часто попадает в прямое противоречие точно с наблюдаемыми минералогическими фактами. Он опирается в своих построениях на гипотетическое существование координирующего числа 6 для кремния, противореча при этом самому А. Вернеру, считавшему, что таким числом для кремния является 4. (A. W e n e r. Neure Anschauungen auf. d. Geb. d. anorg. Chemie. 3-te Aufl., Br. 1913, p. 119 — 121; его же. Berichte d. deutsch. chem. Ges., 40, V. 1907, p. 41). Теоретические построения, основанные на этом представлении А. Вернера, более соответствуют минералогическим фактам, чем построения Якоба. Дальнейшее изучение рентгенограмм привело к представлениям, отвечающим строению ортосиликата — Si — . См. W. Bragg u. G. Bragg. Zeit. f. Kryst.

63. L. 1926. 549.

284) См. историю вопроса и библиографию: В. Вернадский. Bull. de la Soc. deš Naturalistes. de Moscou. M. 1891, p. 43 s.

285) Во всем дальнейшем изложении я буду основываться на представлениях о строении силикатов и особенно алюмосиликатов, вытекших из моего изучения этих тел. Прошло сейчас более 30 лет, как мною были даны основы этих представлений, являющиеся по сути эмпирическими, а не гипотетическими (В. Вернадский. О группѣ силлиманита и роли глинозема въ силикатахъ. М. 1891; то же в Bulletin de la Soc. des Naturalistes de Moscou). Мне кажется, что и сейчас эти основы отвечают наблюдаемой с тех пор огромной массе фактов лучше других теорий. Изложение истории кремния в этой книге является, для меня отчасти проверкой правильности взятого в 1891 году направления в истолковании химии алюмосиликатов. Я надеюсь дать сводку имеющихся данных во 2-м томе моей «Истории минералов земной коры». См. дальнейшие мои работы: Zeitschrift f. Kristall 34, L. 1901, p. 37; Извѣстія Петерб. Академіи Наукъ (6), 3, p. 1909, p. 1183; Минералогія. Изд. 3-е, М. 1910, 1912. Zeitschr. f. Kryst, 53, L. 1913, p. 273. Доклады Росс. Акад. Наук, П. 1923, стр. 27.

286) S. M o r o z e w i c z. Mineral. u. Petrogr. Mittheilungen, 18, W. 1898, p. 56 s. По-русски менее полно.

287) Его получают, нагревая каолин до 550°C .

288) О силлиманите, как ангидриде алюмокремневых кислот: В. Вернадский. О группѣ силлиманита и роли глинозема въ силикатахъ. М. 1891.

289) Повидимому, ангидрид $Al_2Si_2O_7$ есть тело «гигроскопическое»; характер его воды не ясен. Ангидрид $Al_2Si_2O_7$ может поглощать другие тела (напр., окиси металлов K, Ca, NH_3), не давая устойчивых соединений, Такие нестойкие и изменчивые соединения, повидимому, часто встречаются в почвах, в морских илах, среди вадозных минералов биосферы.

290) См. стр. 115.

291) P. Termier. Annales des mines. 17, P. 1889, p. 372. C. R. 108, p. 1889, p. 1071. Этот минерал был встречен несколько раз до Термье; его принимали за остатки организмов. P. Termier. I. c. L. Cayeux. Introduc. à l'étude des roches sédim. P. 1916, p. 230.

292) E. Wherry e. T. Larsen. Journal of Washington Acad. of. Sc. 7, W. 1917, p. 208 s.

293) P. Termier, I. c. L. Cayeux. Contribution à l'étude micr. des terrains sédim. Lille, 1897, p. 327, 436 (Mem. Soc. Géol. du Nord). L. Cayeux, I. c., 1916.

294) В. Вернадский. Доклады Росс. Акад. Наук. П. 1923, стр. 27.

295) Вероятно, делануит соответствует ангидриду $Al_2Si_4O_{11}$ (E. Wherry a. T. Larsen, I. c., 1917, p. 215), если пренебречь лабильной водой. Может-быть, сюда же относится и бейделлит, характер воды которого не ясен. О нем E. Larsen e. E. Wherry, Journ. Wash. Acad. of. Sc. 15. W. 1925. 465.

296) Для пресной воды и льдов по W. Halbfass (Urania, VII, W., 1913); изложение автора в Intern. Revue d. Hydrobiologie, 6, L. 1913—1914, p. 553.

297) F. Clarke a. H. Washington. Proceed. of. Nation. Acad. of Science of U. S., 8, W. 1922, p. 112.

298) Иногда даже в новых работах (напр., W. Hobbs. Earth's evolution and its facial expression. N.-Y. 1921, p. 74) указывается на нахождение кислорода в вулканических газах. Однако, нет фактов, подтверждающих это утверждение. См. В. Вернадский, I. c., I, П. 1914, стр. 640. Исследования Джагарда над газами вулканов Гавайи доказали поглощение лавами атмосферных газов (кислорода и азота) и их выделение среди газов вулканов (T. Jaggard. Amer. Journal of Science (4), 44, N. H. 1917, p. 1917 s.). E. Allen (Journal of Frankl. Inst., 193, 1922, p. 30) пришел к тем же заключениям. Таким образом ювенильное происхождение этого кислорода становится еще более сомнительным. Новые работы Мурё и Лепапа указывают на нахождение небольших количеств свободного кислорода в газах некоторых минеральных вод (C. Mougeu. Journ. of the Chemic. Soc. L. 1925). Происхождение его неясно.

299) J. Kant (1754). Sämmtl. Schriften (изд. Берлинской Академии), I, B. 1902, p. 195 s.

300) P. Lowell. Mars a. Its canals. N.-Y. 1906, p. 366 s. Cp. S. Arrhenius. Le destin des étoiles. Tr. F. Leyrig. P. 1921, p. 142 s.

301) E. Suess. La face de la terre. Tr. par E. de Margerie, II, P. 1900, p. 841. О транспрессиях. Ib., III, P. 1913, 1610.

302) Его самые важные работы собраны в «Очерках о геологическом прошлом Европейской России», П. 1919. Ср. также «Известия Росс. Акад. Наук», П. 1921.

303) Сейчас после выяснения резкого различия в химическом составе горных пород под океанами (основные) и под сушей (кислые) старый в геологии вопрос о постоянстве океанических бассейнов в геологическое время может считаться эмпирически установленным. Разный состав установлен Вашингтоном; см. H. Washington. F. Clarke. Proceedings of Nat. Acad. of Sc. 8. W. 1922, p. 109. Их же. The Composition of the Earth's Crust. W. 1924 (Profess. papers of U. S. Geol. Survey, № 127). Ср. то значение, какое этот вопрос принимает сейчас в связи с изучением распределения радиоактивных элементов. J. Joly. The surface history of the Earth. O. 1925; H. Holmes. Geolog. Magazine, 63, L. 1925, p. 306. Его же. Philos. Magazine (7), I, L. 1926, p. 1072; H. Jeffreys. Nature, 118, L. 1926, p. 443; H. Holmes. Ib, 1926, 586; Philos. Magazine (17), II. L. 1926, p. 121.

304) F. Suess. Verhandl. d. Ges. deutschen Naturf. u. Aertzte, 74, I. L. 1902, p. 140; E. Suess. La face de la Terre, tr. par E. de Margerie, 3, P. 1913, 1463; ср. E. v. Richthofen. Das Meer u. d. Kunde d. Meeres., B. 1904, p. 14.

305) E. Suess, I. c., III, 1913, 1694. Согласно Зюссу, наша планета вначале была совершенно покрыта водами моря, давала «Панталассу». Он думает, что орогенетические движения стремятся восстановить существовавшее раньше такое состояние равновесия.

306) Анализ геохимической истории жизни приводит к заключению о невозможности «Панталассы», как состояния равновесия земли. Суша и океан всегда существовали одновременно в геологическом времени. См. В. Вернадский. Биосфера. Л. 1926, стр. 145.

307) L. Henderson. Die Umwelt d. Lebens. Autor. Uebersetzung. L. 1914, p. 68. Ср. русский перевод: Л. Гендерсон. Среди жизни, пер. С. Скадовского и В. Шредер, Л. 1924, стр. 79.

308) L. Henderson, I. c., 67. Ср. Л. Гендерсон, стр. 79.

309) В настоящее время эти идеи вызвали многочисленные опыты. Они, несомненно, представляют живое течение современной научной мысли. Не только «пласмогенисты» и морфологи (Ср. прим. 394; Ср. S. Leduc. Théorie physico-chim. de la vie, P. 1910. La biologie synthétique, P. 1912), но и химики ищут в этих явлениях разгадку жизни. Ср. В. Моог, Biochemistry. L. 1921, p. 127. T. Donnan. The physical chemistry of interfaces. «The Advancement of science», L. 1926, V., p. 23. В этом направлении идут интересные работы Люмьера: Lumière. Rôle des colloïdes chez les êtres vivants. P. 1921. Его же. Théorie colloïdale de la biol. et de la pathol., P. 1923. Любопытно, что уже Т. Грахам усматривал в коллоидах «primary source of the force appearing in the phenomena of vitality». В. Моог, I. c., 1921, p. 11.

310) Часто думают, что роль коллоидов гораздо менее важна в косной природе, чем в живой, напр., J. Duclaux. Les colloïdes. P. 1920, p. 7—9.

311) Недавно В. Бонкрафт обратил внимание на забытые работы оригинального французского ученого А. Е. Бодримона (А. Е. Baudri-

mont. 1806—1880); он является одним из предшественников Сельми и Грэгама. О значении его работ в кристаллографии см. В. Вернадский. Основы кристаллографии, I. М. 1903, стр. 133—134, 143 (предшественник учения Е. С. Федорова).

312) О Ф. Сельми см. J. Guareschi. Memorie d. Academia di Torino (2), 62, T., 1911, p. 159 s.

313) T. Graham. Chemical a. physical researches. Red. A. Smith, Ed. 1876.

314) N. Fuchs. Gesamm. Schriften. Her. v. C. Kaiser. Münch. 1856.

315) Особенно в своем курсе минералогии. A. Breithaupt. Vollständ. Handbuch d. Mineral. 1—3, L., 1836—1847.

316) F. Cornu. Miner. u. Petr. Mith., 28, W. 1909, p. 196; Centralbl. f. Min., L. 1909, 324 s., 335. Verhandl. d. Geol. Reichsanstalt, W. 1909, p. 41. Zeitschr. f. prakt. geol., 17, B. 1909, 12. О Ф. Корну — F. Becke. Min. u. Petr. Mith., 28, W. 1909, p. 111. Сборник Felix Cornu. Dr. u. L. 1923.

317) Ясный обзор господствующих идей о коллоидах см. W. Koraczewski. Revue génér. des sciences, 33, P. 1922, p. 610; J. Duclaux. Les colloides, 2. éd. P. 1925.

318) П. Ф. Веймарнъ. Къ учению о состоянияхъ матеріи. П. 1913. Его же. Новая систематика агрег. состояній матеріи. П. 1913. Его же. Записки Екатеринбургского Горн. Инст. I. Влад. 1919.

319) H. Le Chatelier. La silice et les silicates. P. 1914, p. 34, 58 ss.

320) Существуют указания на сходство мицелл в этих гидратах с иным полиморфным изменением SiO_2 , чем кварц — с «аморфным» кремнеземом. Ср. O. Mulert. Zeit. f. anorg. Ch. 35. H. и L. 1912, p. 207, 239 (термохимические данные).

321) Не исключена возможность, что есть опалы, представляющие действительно гидраты в твердом состоянии. Таковы опалы органогенные, образующиеся в губках или радиоляриях. Они дают кристаллические скелеты правильной системы. Об этом В. Вернадский. Минералогия. I. М. 1910. Стр. 322. Вне организма в природе они неизвестны, может быть, это — сложные кремнеорганические соединения.

322) H. Le Chatelier, 1. с., 1915, p. 77; Pascal. C. R., 178. P. 1922, p. 816. См. наблюдения, ведущие к тем же заключениям: V. Lenker. Journal of Amer. Chem. Soc., 43, W. 1921, p. 291 s.; S. Glixelli. C. R., 176, P. 1923, p. 1714.

323) F. Diénert et F. Wandelbulcque. C. R., 176, P. 1923 p. 1480.

324) Напр., A. Stock. Berichte d. deutsch. chem. Ges., 50, B. 1917.

325) Для кристаллических гидратов алюминия синтез не дал ничего нового по сравнению с минералогическим наблюдением. Устойчивым кристаллическим гидратом является γ — ряд Габера (F. Haber. Die Naturwissenschaften, 13, B. 1925, 1008 s.).

326) E. Posnjak a. A. Merwin Am. J. Sc., (4), 47. N. H., 1919, p. 311 s.; F. Haber, 1. с., 1925, 1008 сл. В новой работе Н. С. Курнаков и Е. Роде (Известия Инст. Физ.-Хим. anal. III. I, Л. 1926, стр. 305 сл.) указывают, что существует одно кристаллическое соединение $\text{Fe}_2\text{O}_2(\text{OH})_2$ — гетит. Турбит — раствор воды (цеолитного типа) (до 8%)

H_2O) в окиси железа. В лимонитах вода находится в растворе—в гетите. Явления более сложны для ксантосидеритов (бобовых руд). Нет ли в бобовых рудах всегда кремнезема (опалов)?

327) P. P a s c a l. C. R., 178. P. 1924, p. 482.

328) Коллоидальное состояние гидратов Al_2SiO_5 точно не установлено. Быть-может, $H_2Al_2SiO_6$ существует в землистых массах кислых магниевых силикатов (стр. 129).

329) Каолиновые глины часто содержат гидраты окисей алюминия и железа, коллоиды кремнезема и т. д. Основательное изучение «глин» геологами, географами, агрономами, керамистами показывает, что зачатку это тела химически очень отличные от каолиновых глин. Есть «глины», образованные из кремнезема; другие (как глины мергелей) содержат хлоритовые алюмосиликаты (стр. 130); «сукновальные глины» состоят из магниевых водных силикатов; «china clay» богата гидромусковитом или мусковитом; некоторые каолиновые глины с Урала — чистые мусковиты (см. о последнем Л. И в а н о в ъ. Bull. Soc. Nah. de Moscou. 1902, p. 507).

330) Повидимому, существует группа гидратов, соответствующая кислотам хлоритов, например, некоторые аллофаны или аллофанониды. Их также называют глинами. Группа аллофанов очень мало известна в химическом отношении. Она, вероятно, играет гораздо более важную роль в биосфере, нежели это обычно считается.

331) T. S. H u n t. Americ. Journ. of. Science (3), 19. N. H., H., 1880, p. 350 — 351. Эти вычисления были впервые произведены Э б е л ь м е н о м (1845—1847); он получил 195 кг CO_2 на метрический куб ортоклаза (H. E b e l m e n. Recueil des travaux, 2, P. 1855, p. 74).

332) F. C l a r k e (Data of Geochem., 1920, p. 33) дает для сланцев 4% массы земной коры. Состав этих сланцев, содержащих каолиновые глины, показывает, что они по большей части состоят из кремнезема (кварца) и металлических алюмосиликатов (феррисиликатов).

333) V a n H i s e. A treatise on metam., W. 1904.

334) В. Ч и р в и н с к и й. Зап. Киевск. Общ. Естествоиспыт., 26. К. 1917, стр. 44.

335) A. H o l m e s. Geol. Magaz. (6). E. L. 1915, p. 102.

336) Эта реакция соответствует потере воды в наших лабораторных опытах. П. З е м я т ч е н с к и й. Этюды о русских глинах. П. 1923, стр. 48; В. В е р н а д с к и й. Доклады Росс. Акад. Наук. П. 1922, стр. 27.

337) Эта реакция соответствует метаморфическому процессу образования андалузита, силлиманита, дистена. Силлиманит получен полным обжиганием глин. См. В. В е р н а д с к и й. О группѣ силлиманита, М. 1891, стр. 76. Это отрицается; думают, что получается только муллит (например, Меллор, Боуэн и Грейг, см. прим. 350). Едва ли такое отрицание правильно. В моих опытах анализ дал в одном случае, несомненно, силлиманит. Может-быть, влияние примесей? Может-быть, правильно представление о муллите (керамите), как предельной устойчивой форме твердого раствора Al_2O_3 в Al_2SiO_5 ; муллит отвечает формуле, близкой к $Al_6Si_2O_{13}$. Это объясняло бы те колебания в химическом составе, которые постоянно наблюдаются; они наблюдались и мной (W. V e r n a d s k y. Trans. of Ceramic Soc., 24. L. 1924 — 5, p. 19) и приводили меня к формуле

$Al_2Si_2O_7$ (аналогичной дюмортьериту). В последнее время накапливаются данные, которые указывают, что при высокой температуре действительно может образовываться не муллит, а силлиманит и что возможно, что муллит (керамит) есть раствор Al_2O_3 в силлиманите или близком к нему теле (см. A. Brauns и R. Brauns. Centr. f. Min. A., St. 1926, p. 6 s. — лит.). Может быть, что вопрос разъясняется новым указанием Росбао, что чистый муллит имеет формулу Al_2SiO_7 , являясь новой четвертой полиморфной разностью Al_2SiO_7 . (P. Rosbaud. Zeitschr. f. Electroch., 32, B. 1926, p. 319).

338) W. Vernadsky. Bulletin de la Soc. des Natur. de Moscou, M. 1891, p. 48 s.; Минералогия. 3-е изд. 2, М. 1912, стр. 410 с.

339) В. Вернадский. Извѣстія С.-Петербур. Акад. Наукъ (6), 6. Н. 1909, стр. 1190 s. Новые важные синтетические работы A. Buddington'a «Americ. Journ. of Sc.» (5). 3. 1922, мне кажется, укладываются в рамки высказанной здесь теории. Ср. замечания А. Гинзберг и Х. Никогосяна. Изв. Акад. Наук, Л. 1926, стр. 692.

340) До $370^\circ C$. растворимость алюмосиликатов и силикатов очень слаба. P. Niggli et G. Morey. Zeitschr. f. anorg. Chemie. 83, L. 1913, p. 382.

341) О гидротермиальных минералах и их синтезах. P. Niggli u. G. Morey. l. c., 1913, p. 369 s.; E. Baug. Dölter's Handb. d. Mineralch., 11, 2, Dr. u. L. 1917, p. 556 s.

342) C. Sainte-Claire Deville. C. R., 54., P. 186, p. 325.

343) A. De Schlulten. C. R. 90, p. 1880, p. 1493, 94. P. 1882, p. 96 (180° анальцим); J. Lemberg. Zeitschr. d. deutsch. geolog. Gesellsch., 35 B. 1885, p. 597 ($180-190^\circ C$. анальцим). Первые опыты Лемберга указали на образование цеолитов из их элементов (гидраты глинозема и кремневые соли) при гораздо более низких температурах, быть-может, около $100^\circ C$. (J. Lemberg. ib., 28, L. 1878, p. 574). Однако, температура не была точно определена в этих опытах добросовестного юрьевского ученого. Было бы очень важно их повторить с нашими теперешними научными средствами.

344) R. Daly (Proceedings of National Acad. of Sc., 3 W. 191, p. 659) обратил внимание на очень распространенный процесс кристаллизации щелочных полевых шпатов в известняках при низкой температуре, ниже $100^\circ C$., быть-может, ниже $70^\circ C$. Р. Дэли изучал его для Западной Европы и Северных Соед. Штатов Америки, но это общий процесс. В России его изучали П. Земятченский, Я. Самойлов, А. Ферсман, П. Борисов, В. Чирвинский. Он входит в ряд других аналогичных процессов, каковой является, например, кристаллизация цеолитов при низкой температуре, например, в Пиренеях, изученная А. Лакруа (A. Lacroix. Minéral de la France, 2, P. 1897, 335) или на дне моря (J. Mugray a R. Renard. Deep Sea Deposits, L. 1891, p. 400 s. Challengers Rep). Это частичное проявление великого природного явления превращения каолиновых глин в каолиновые силикаты у нижней границы биосферы. Эта кристаллизация щелочных полевых шпатов не является синтезом из их элементов (т.-е. синтезом каолинового ядра), но лишь химическим превращением тел, обладающих уже каолиновыми ядрами.

345) В. Вернадский. Bulletin de la Soc. Des natur. de Moscou, M. 1891, p. 1 s. Список последующих работ. Zeitschr. f. Krystall., 53. L. 1913, p. 274. Ср. Доклады Росс. Акад. Наук. П. 1923.

346) До сих пор продукты присоединения к каолиновым ядрам не были наблюдаемы среди минералов метеоритов, содержащих, однако, соли каолинового строения.

347) C. Sainte-Claire Deville.—Annales de ch. et de ph. (3), 40, P. 1854, 257, p. 288. Этот забытый мемуар очень интересен с точки зрения современных петрографических идей. Он заключает очень ясные их зачатки. Ср. Sainte-Claire Deville. C. R., 54, P. 1862, 880—881.

348) H. Le Chatelier (Bull. de la Soc. Minér. Fr., 10, P. 1887, p. 206), первый констатировал выделение тепла при этой температуре для галлуазитов и для коллоидальных каолиновых глин. Позднейшие наблюдения доказали общий характер явления. Выделение тепла иногда неправильно объясняется, например, В. Меллором существованием свободного глинозема тоже, как то доказал Ле Шателье, выделяющего тепло, однако, при более низкой температуре (850° Ц.).

349) В. Вернадский. О группѣ силлиманита и роли глинозема въ силикатахъ. М. 1891 (Bull. Soc. Natur. de Moscou, стр. 76 сл.); П. Земятченский, I. с., 1923, стр. 84. Вопрос этот вызвал в последнее время огромный литературу. Кроме указанной в примечании 337, см. еще J. Mellor a. Scott, Transactions of the ceram. Soc., XXIII, L. 1925; W. Agafonoff et W. Vernadsky. C. R., 1924. p. 1082; В. Искюль. Об отношении каолинита к высокой температуре, Л. 1925. (Тр. Керам. инст. 2); А. Гинзберг, Х. Никогосян и А. Читаев. Об изменениях каолинита при нагревании, М. 1926 (Тр. Инст. Прикл. минер. 22); J. Greig. Journ. Amer. Ceram. Soc., 8. 1925; N. Bowen, J. Greig a. E. Ziess. Journ. Washington Ac. Sc., 14. 1924, 187; F. Neumann. N. Jahrbuch f. Miner. Beil., Bd. 53, L. 1925; J. Norton Journ. Amer. Ceram. Soc., 8. 1925; F. Raaz. Mineral. u. Petrogr. Mitteilungen, 38, W. 1925, 583. G. Urasow. Zeit. anorg. u. allg. Chemie. 154. L. 1926. 152; R. Schwarz u. H. Merck. Zeit. f. anorg. u. allg. Ch. 156. L. 1926, p. 1 сл.

350) В природе существуют несколько разных ангидридов. Литература о керамите см. прим. 349. Близок и тоже более богат алюминием, чем Al_2SiO_5 , дюмортьерит $(Al, B)_8Si_5O_{18}$. Чистый алюминиевый дюмортьерит синтетически получен Сент-Клер-Девиллем и Кароном (Ch. Sainte-Claire Deville et Caron. Ann. de ch. et ph. (4), 5, P. 1865, p. 114). Мной получена другая полиморфная разность β -дюмортьерит (В. Вернадский. I. с., 1891, стр. 81). Есть ангидрид более бедный алюминием, чем Al_2SiO_5 — $Al_3Si_3O_{12}$. Он синтетически получен Фреми и Фейлем (Fremy et Feil. C. R., 85. P. 1877, p. 1032) и наблюдается в природе в виде минерала ксенолита — $Al_3Si_3O_{12}$. О существовании ксенолита как минерала отличного от силлиманита см. В. Вернадский, I. с., 1891, p. 52 сл. В очерке Дельтера (C. Dölter. Handb. d Mineralch.; 2, 2, Dr. u. L. 1917, p. 14 s.) анализ ксенолита, сделанный Вииком, указан, но второй анализ Комонена (N. Nordenskiöld. Acta Soc. Fen-

pisae, I. H., 1842, p. 375) не упоминается, и ксенолит считается синонимом силлиманита. Мне кажется, что факты противоречат этой гипотезе.

351) С. Вейбергъ. Труды Геолог. и Минер. Музея Академии Наукъ, 5, П. 1911, стр. 160. Он не видит большой разницы в структуре каолиновых силикатов (соли $H_2Al_2Si_2O_8$) и «маргаритических» силикатов (соли $H_2Al_2SiO_6$), так как различие температур их образования — незначительно. Существует все же предел существованию калиевого каолинового ядра, соответствующий определенной температуре, ниже которой это тело не существует и заменяется другим, что именно и доказывают опыты проф. С. Вейберга. Ср. P. Niggli. Zeitschrift f. anorgan. Chemie, 98. L. 1916, p. 319.

352) О температуре плавления анортита см. G. Morey a. N. Bowman. Am. J. Sc. (5), 4, N. H. 1922.

353) G. Morey a. N. Bowman, l. c., 1922. p. 8 s.

354) Устойчивость каолинового ядра в натровых, калиевых и кальциевых телах очень различна. Она определяет появление отвечающих им минералов в горных породах. Так, например, $Na_2Al_2Si_4O_{12}$ (ядейт) не выделяется в кислых изверженных породах при высокой температуре в противоположность $KAl_3Si_4O_{12}$ (лейциту), так как $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ (альбит) не разлагается при высокой температуре (G. Morey a. N. Bowman. l. c. 1922, p. 20). Свойства кислоты $H_2Al_2Si_4O_{12}$ (пирофиллит) при высокой температуре кажутся очень отличными от свойств $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$ (каолин) (Ср. H. Houldsworth a. J. Cobb. Trans. Ceram. Soc., 22, St. 1923, p. 134) и требуют основательного изучения.

355) Ср. F. Clarke, l. c., 1924, p. 295.

356) В. Вернадский (Доклады Росс. Акад. Наук. П. 1923, стр. 27; J. Mellor.) (Trans. of the Ceram. Soc., 9. St. on T., 1910, 94, 10; 1912, 161, 13; 1914, 83, 22; 1923, 105.) предполагает, что при 450—550° Ц. каолин дает свободные глинозем и кремнезем. См. противоречащие опыты П. Земятченского, l. c., 1923, p. 48.

357) Обыкновенно алюмосульфаты (квасцы) считаются двойными солями. Но это делается лишь по рутине. Образование алюмосульфатов путем разложения алюмосиликатов — один из фактов, среди многих других доказывающих сложность строения алюмосернокислого ядра.

358) Ср. L. De Launay. Gîtes min. et métallif. 2. P. et L., 1913, p. 247 s.

359) J. Forchhammer. Report of the British Assoc. f. the advanc. of science, 14, L. 1845, p. 155 s.

360) Условия генезиса алюмосульфатов в связи с алюмосиликатами при низких температурах мало изучены. Ср. Н. Смольянинов. Этюды о русских глинах. П. 1923, стр. 125—месторождение каолина и алюнита на Урале.

361) О значении водных магниевых силикатов в химии земной коры см. О. Лукашевичъ. Органическая жизнь земного шара, 2. П. 1909, 123; А. Ферсманъ. Труды Геолог. Музея Акад. Н., 7, П. 1916, стр. 206. Ср. для магния в верхних частях земной коры интересные указания К. Бишофа — С. Bischof. Lehrb. d. chem. u. phys. Geol. I. Bonn. 1847, p. 789.

362) H. Washington a. F. Clarke. Proceed. of. Nation. Acad., W. 1922, 112.

363) G. Tschermak. Miner. Mitth., I, W, 1871, p. 31. ср. C. Dölter. Handb. d. Mineralch., 2. 1, Dr. u. L., 1914, p. 568.

364) F. Zambonini (Osservazioni s. compos. chim. di alcuni miner. I. Nap., 1914, p. 10 s. Extr. di Attid. Ac. di Soc. di Nat., 16) дает общий обзор состояния этого вопроса до 1914 г.

365) S. Morozewicz. Miner. u. Petrogr. Mith., 18. W., 1899, p. 116. F. Zambonini (I. c., 1914, p. 11) доказывает, что опыт Морозевича не разрешает вопроса.

366) Следует отметить, что магнеиые алюмосиликаты — каолиновые и хлоритовые — не существуют в метеоритах.

367) А. Готье (A. Gautier. Cours de chimie, 3. P., 1892, p. 21) первый указал на исключительную роль магния в строении хлорофилла (а не Р. Вильштеттер, — ср. R. Willstätter, Annalen d. Chemie, 350, L. 1906, p. 55; F. Czapek. Biochemie d. Pfl., 2-te Ausg. I, J, 1912, p. 569 s.). Большие работы в этой области Р. Вильштеттера, однако, впервые выяснили характер магния в его молекулах. Ср. R. Willstätter u. Stoll. Untersuchungen über Chlorophyll. B. 1913.

368) Очевидно, процент магния должен сильно увеличиваться в тех веществах, в которые превращается хлорофилл. С этой точки зрения чрезвычайно интересен продукт изменения хлорофилла в отложениях каменного угля. В нем процент магния достигает 10 и больше. Этот «кларен» иногда составляет значительную часть массы угля. О таком происхождении см. M. Stopes. Proceed of R. Soc., B. 10. L., 1919. 480. R. Lessing. Trans. of. Chemic. Soc., 117, L. 1920, p. 264.

369) В. Вернадский. Химический состав живого вещества П. 1922.

370) H. Le Chatelier. La silice et les silicates. P. 1914, p. 469. Ср. p. 186.

371) Это хлориты, как, например, шамозиты. Их роль в геохимической истории железа совершенно иная, чем роль магнеиых хлоритов в истории магния. Очень отличен и генезис этих хлоритов. Не исключена возможность, наоборот весьма вероятен их биохимический генезис. Это, вероятно, для группы главконита и группы хлоритов, близкой к шамозиту, которая входит в состав новейших оолитовых руд (например, Лотарингия) — группы бавалита или бравэзита. Это, может-быть, группа идентичная с шамозитами. Характерно, что феррисиликаты хлоритового строения образуются из силикатов закиси железа (из группы оливина).

372) О серпентине см. В. Вернадский. Минералогия. 2. П. 1912, стр. 357. C. Dölter. Handbuch d. Miner., 11. Dr. u. L., 1914, p. 406 s.

373) Например, для силанолов — аналогов углеродистых алкоголей. A. Stock. Ber. d. deutsch. Chem. Ges., 50, B. 1917, p. 176.

374) S. Glirelli. C. R., 176, P., 1923, p. 1714.

375) Энофит — один из продуктов выветривания серпентина был изучен А. Шрауфом — A. Schrauf. Z. f. Kryst., 6, L. 1881, p. 45 s. Его формула для растворителя соответствует $H_2Mg_3Si_3O_{10}$, но энофит содержит еще Al_2O_3 и Fe_3O_2 (всего 2,67%), и анализ вполне соответствует

изоморфной смеси двух тел формулы $H_6Mg_3Si_3O_{10}$ и $H_2(Al, Fe)SiO_6$. Его также можно рассматривать как изоморфную смесь $H_6Mg_3Si_3O_{10}$ и продукта его присоединения $H_6Mg_3Si_3O_{10} \cdot H_2(Al, Fe)SiO_6$. Это строение, аналогичное строению других водных магниевых силикатов. См. стр. 129.

376) О генезисе серпентина сводка (и библиография) у W. Benson. *American Journ. of. Sc.* (4). 6. N. H. 1918, p. 694.

377) Анализ Т. Николаевского указывает для чистого кеффекулита из Бахчисарая $22,09^\circ Al_2O_3$. А. Ферсманъ. Материалы для изучения производительныхъ силъ Россіи. № 1., 3, 1918, стр. 10.

378) Строение хлоритов очень отлично от строения хлоритоидов. Они не только являются производными разных кислот (многоосновных для хлоритов, $H_2Al_2SiO_6$ для хлоритоидов). Хлоритоиды дают кальциевые соединения, неизвестные для хлоритов.

379) Выветривание хлоритов в биосфере очень мало изучено. Повидимому, богатые алюминием хлориты довольно стойки. Библиография С. Dölther, l. c., 11, 2, Dr. u. L. 1917, p. 651 s.; П. Земятченскій, l. c., П. 1905, 173, сл.; П. Борисовъ. Отчеты засѣданий Пб. Общества натуралистовъ, минерал. и геол., 1905. 172; П. Земятченскій, l. c. 1923.

380) E. Wülfing. *Unters. d. bunt. Mergels v. Keuperformation*, St. 1899, p. 22, (Jahresb. d. Ver-Vaterl. Natur. Würtemb., 56. 1900); H. Le Chatelier. *La silice et les silicates*, P. 1914. Thiébaud. C. R., 175, P. 1922, p. 447; 177, P. 1923, p. 275. Его же. *Thèse*. P. 1925.

381) Анализ Вюльфинга соответствует кислоте $Al_2Si_2O_3(HO_3)$, анализ же Тьебо—кислоте $Al_2Si_4O_7(HO_3)$.

382) А. Ферсманъ. Извѣстія Петерб. Акад. Наукъ, П. 1908, 25 сл., 37. Записки Акад. Наук (8), 22, № 2, П. 1923.

383) А. Ферсман (Геохимия России, 1, П. 1922) допускает, что А может иметь формулу каолинового типа.

384) A. Fergsman, l. c., П. 1919.

385) Le Chatelier, l. c., 1914, p. 446, 469.

386) Согласно Дальмеру (Dalmer, *Centralbl. f. Miner. St.*, 1908, p. 518). Новые работы Орселя, Курнакова и Черных: J. Orsel, *Comptes Rendus de l'Acad. de Paris*. P. 1925—1926. Н. Курнаков и В. Черных. *Зап. Минерал. Общ.* 55. 1926, стр. 183.

387) В. Вернадскій, l. c., 2, М. 1912, p. 428. Другие теории об их структуре, см. С. Dölter, l. c., 2, 1, 1917, p. 656.

388) См. стр. 116.

389) Vauquelin. *Annales de chimie*. 29. P. 1799. (An. VII). p. H. Davy.-*Journ. of. natur. philos.*, ed. by A. Nicholson, 3, L. 1799. p. 138.

390) Об Абельдгорде см. указания у F. ab Humboldt. *Florae friberg. specimen*. B. 1793. p. 135.

391) T. de Saussure. *Rech. sur la végét.* P. 1804, p. 301.

392) P. Masé. *Annales de l'Institut Pasteur*, 28, P. 1914, p. 20 s.; 33, P. 1919, p. 139 s.

393) O. Richter. *Denkschr. d. Wien. Akad. d. Wiss. Math. Nat. kl.*, 84, W. 1909, p. 739.

394) A. Herrera. *Notions de biologie et de plasmogénie*. Tr. par Renaudet. L. 1906, p. 49; A. Herrera. *La plasmogénie*. P. 1912 (оттиск

из *Revue des idées*), p. 20—21. А. Неггера. *Revue scientif.*, 59. P. 1921, p. 604. Существует большая литература о плазмогенезе. Многие его заключения имеют характер догадок и аналогий. Но в общем в этих работах значение кремния в строении организма указано быть может с бóльшей глубиной, чем в господствующих биологических представлениях. Интересны опыты Херреры над получением кремнеземных скелетов тканей, достигаемым остерожным прокаливанием живых тканей (А. et. А. Магу. *Principes de plasmogénie*. Мех. 1916. p. 136). Необходимы новые опыты. Ср. прим. 309.

395) Этот круговорот кремния имеет геохимическое значение, например, обогащение планктона диатомеями в озерах нашего климата весной и осенью или изменение распределения кремнезема в полях злаков наших широт с возрастом растений. Тот же факт наблюдается в лугах и т. д.

396) В. Вернадский. *Химич. состав жив. вещ.* П. 1922.

397) Существование организмов, содержащих при жизни более 10% этого элемента, не может считаться вполне доказанным. Некоторые анализы (например, анализ Т. Андерсона диатомей. J. Murray a. C. Renald. *Deep Sea Deposits*. L. 1891, p. 281. *Challenger Rep.*) подтверждают этот факт. Однако, существуют и другие указания. Так, например, анализы Генсена (V. Hensen *Fünfter Bericht d. Comm. z. wiss. Unters. d. deutsch. Meere*. В. 1887, p. 34, 38) указывают для диатомей и для радиолярий количества кремния, не превышающие 2,5% Si. Однако, в этом случае чистота анализированного вещества сомнительна.

398) В. Вернадский, I. с., 1922.

399) J. Murray a. Hjorth. *The deapth of Ocean*. L. 1912, p. 165, 380. J. Murray a. R. Irvine. *Proceed. of. R. Soc. of. Edinb.*, E. 1891, p. 230—231. J. Murray a. Renard. *The deap sea deposits*. *Challenger Report*. L. 1891, p. 282. J. Murray. *Intern Revue f. Hydrob.* I. 1908, 12.

400) L. Сауеух. *Introduc. à l'étude des roches sédim.* P. 1916.

401) Van Hise. *A treatise on metamorph.* W. 1904, p. 850 s.

402) L. Сауеух. *Bull. Soc. Géol. de Fr.* (3), 22. P. 1894, p. 197.

403) Я. Самойлов. *Труды Инст. Прикл. Минер.* 4. М. 1923., стр. 7.

404) A. Rothpietz. *Zeitschr. d. deutsch. Geolog. Gesell.* 48. В. 1896. 854. Из современного рода *Ruxidicula*. Отсутствие осадков диатомей в древних породах остается до сих пор загадкой. Начиная с третичной эры, они играли большую геологическую роль. В настоящее время они преобладают в морском планктоне. (V. Hensen. *Das Leben im Ocean*. K. 1911), и их геохимическая роль огромна. Кто их менял в палеозое и мезозое? Быть может, их остатки растворились вследствие бóльшей растворимости их кремневых скелетов. L. Сауеух. *Introduction à l'ét. des roches sédim.*, P. 1916. Ср. Я. Самойлов, I. с. 1923, стр. 5.

405) F. Clarke, I. с. 1924, p. 95.

406) К сожалению, нет опытов над явлениями окремнения. Не есть ли это бактериальный процесс? Он всегда наблюдается в органическом веществе, как это заметил еще Л. фон Бух.

407) Напр., E. Bachmann. *Berichte d. deutsch. botan. Ges.*, 22. В. 1904, p. 101, 29; 1911, p. 263. K. Bassalik. *Zeitschr. f. Gährungs-Phy-*

siol., 2. В. 1912, p. 17. E. Mellor, Les lichens vitricoles. P. (1922), p. 117 Winchell. Econ. geology. 16. 1921, 481. K. Bassalik. Chemik polski. XIII. W. 1913, 147 сл., 223, 250. Весьма вероятно, что значение микроорганизмов будет очень велико и в явлениях образования каолинов — так объясняет каолины Индианы Логан.

408) Я уже указывал, что алюмосульфаты часто образуются в присутствии живого вещества. Обыкновенно это объясняется действием не живых организмов, но органических веществ, связанных с их разрушением. Допускается, что эти органические вещества восстанавливают соединения железа и благоприятствуют образованию его сульфидов. Образовавшиеся сульфиды (как например, марказит) не устойчивы и, окисляясь, дают серную кислоту, разлагающую глину. Однако, обычно окисление сульфидов (и особенно H_2S) в биосфере — явление биохимическое, и сульфаты образуются благодаря действию особых бактерий. Очень вероятно, что аналогичным процессом является и образование алюмосульфатов и что разрушение каолинового ядра глин и каолиновых алюмосиликатов, сопровождаемое образованием алюмосульфатов, должно считаться биохимическим явлением, аналогичным образованию глауконитов, алюмофосфатов и гидратов глинозема.

409) Литература о глауконитах огромна, и указываемое мною здесь его химическое строение обычно толкуется иначе. В виду этого я привожу здесь литературу, заставляющую меня оставаться при прежнем мнении; помимо критической переработки опубликованных фактов, я в свое время обращался для проверки и к опыту и наблюдению. Мною приняты во внимание данные следующих работ: C. G ü m b e l. Sitz. d. Math. Nat. Cl. d. Akad. d. Wiss. München, 16, M. 1886. J. Murray a. A. Renard. Deep Sea Deposits., L. 1891, p. 387 (Challenger Report), К. Глинка. Глаукониты. П. 1896. L. Saueux. Contributions à l'étude microsc. des terrains sédim., I, L. 1897, p. 170 s. (Mém. Soc. Géol. du Nord. 4). F. Clarke. Monographs of U. S. geological Survey, 43. W. 1903, p. 243. L. Collet a. G. Lee. Proc. of R. Soc. of Edinb., 26. E. 1906, p. 246. J. Murray a. E. Philippi. Wiss. Ergebn. d. deutsch. Tiefsee Exped., 20; 4. J. 1908, 175. W. Caspary. Proceed of R. Soc. of Edinb., 30, E. 1909, p. 367 s. A. Архангельский. Материалы для геологии России. 25. П. 1912, стр. 550 с. L. Saueux. Introduction à l'étude des roches sédim., P. 1916. F. Clarke. Data of geochemistry. W. 1924, p. 519. R. Mansfeld. Econ. geology. 15. 1920. A. Hallimond. Miner. Magazine. 19. L. 1922, 330. De Chaves. Boletin R. Acad. Ciencias da Cordoba. 1922, № 1, 55. Важная сводка дана P. Niggli. Zeitschr. f. Kryst. 57. 1923, 436.

410) А. Архангельский, I. с. 1912, стр. 561. L. Saueux (I. с. 1916, p. 248) рассматривает псевдоморфозы глауконита по полевому шпату, как механические псевдоморфозы.

411) W. Caspary, I. с. 1909, p. 367 (K_2, Ca, Mg, Fe) (Fe, Al)₂ $Si_4 O_{12} 2H_2O$. Это формула Ф. Кларка (I. с., 1903, p. 243), считающего, что вода цеолитная. Новый анализ Н. Ермолаева (А. Архангельский, I. с., 1912, стр. 566) дает ту же формулу, что и Каспари.

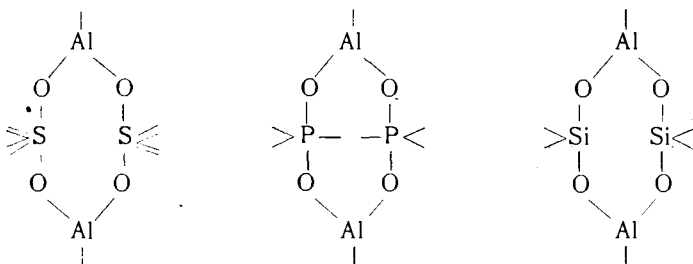
412) W. Caspary, I. с., 1909, p. 368.

413) M. Kispaticé. Neues Jahrb. f. Miner., B.—B., 34. St. 1912. p. 514—548.

414) F. Tuéan, ib. 404, 411.

415) A. Gautier. (Annales des mines (3), 5, P., 1894, p. 135) первый понял важность этого явления, изучая генезис минервита во Франции. Общий характер процесса был выяснен А. Лакруа. Ср. A. Carnot. Ann. des Mines, 8, P. 1895, p. 314. J. Teall. Quarterly Journal of geol. Soc., 54, L. 1898, p. 230. A. Lacroix. Bull. Soc. Miner., 28, P., 1905, p. 13. C. R., 143. P. 1906, 663. Minéralogie de la France. IV. P. 1910, 481. Arch. de Mus. d'hist. natur. (5), 3, P., 1911, 91. Bull. Soc. Minér., 35, 1912, 114. A. Gautier. C. R., 158, 1914, 912.

416) Алюмофосфаты обыкновенно считаются двойными основными солями фосфорной кислоты. А. Wegner (Neuere Anschauungen auf d. Geb. d. anorg. Ch., 3-е Aufl, L., 1913, p. 212) им приписывает более сложное строение. Существует замечательная и очень определенная аналогия строения алюмосульфатов, алюмофосфатов и алюмосиликатов. Она резко проявляется в рассматриваемых процессах. По аналогии с алюмосиликатами, не говоря о других указаниях, можно считать фосфаты алюминия производными алюмофосфорных кислот. Все эти тела, вероятно, имеют схожее химическое строение и содержат соответственные ядра:



417) С. Северинъ. Вѣстникъ бакт.-агрон. станц. им. В. Феррейна. М. № 18. М. 1911. Его же. Centralbl. f. Bacteriol. (2) 28. 1910, 561. J. Stoklasa. ib. 29. 1911, 385 сл. I. Stoklasa u. Kvička. ib. 61. 1924, 298. Я. Душечкинъ. Журналъ опытно. агрон. 12. П. 1911. стр. 666. Биохимический характер миграции фосфора почвы впервые указан П. Костычевым в 1892 г. (С. Северинъ, 1. с. 1911. 157.)

418) M. Bauer. Neues Jahrbuch f. Miner. St., 1898, 2, 165. Об его предшественниках, см. J. Harrison. Geol. Mag. (5), 7, L. 1910, p. 445.

419) Библиография о латеритах указана в следующих новых работах (представляющих также общий обзор наших знаний). A. Lacroix. Nouveaux arch. du Muséum d'hist. nat. (5) P. 1914. К. Глинка. Учение о почвахъ, 2-е изд. П., 1915. Morrow Campbell. On laterite. L. 1917. (Extr. the Mining Magazin). A. Lacroix. Minéralogie de Madagascar. III. P. 1923, p. 92. P. Niggli, 1. с. 1923.

420) T. Holland. Geol. Magazine. (4), 10, L. 1902, 63—64.

421) J. Murray a. R. Irvine. Proc. P. Soc. Edinb., 18, E., 1891, p. 245.

422) В. Вернадский. Известия Акад. Наук. П. 1921. Прот. стр. 121. W. Vernadsky, C. R., 175. P. 1922, p. 452. H. Coupin, ib., 1227.

423) Невозможно дать чисел, ни даже определить порядок явления в этой оболочке. Повидимому, кварц собирается уже в верхних частях— в почвах и в некоторых областях осадочных пород. Но большая часть свободного кремнезема собирается ниже, в верхней метаморфической оболочке.

424) C. Van Hise. A treatise on metamorphism. W. 1904, p. 618 s, 960 s.

425) Для диатомей O. Richter. Denkschr. d. Wiener. Akad. d. Wissenschaft. 84. W. 1909, p. 739.

426) Это явление объясняет образование мусковитов (гидромусковитов) и полевых шпатов, которые мы так часто наблюдаем в детритических поверхностных породах и в известниках, при низкой температуре. См. прим. 344.

427) F. Clarke a. H. Washington. The composition of the Earth's crust. W. 1924. p. 34. Раньше (Proceedings of Nation. Akad. of Sc. 8, W. 1922, p. 114) они давали для него число — 0,139%.

428) C. Van Hise. A treatise on metam. W. 1909, p. 963. В Вернадский, I. c. I. P. 1908—1914, p. 559 s. Ср. для Мадагаскара A. Lacroix, Minéral. de Madagascar. I. P. 1921, p. 152.

429) A. Delesse, Ann. des mines (5), 18. P., 1860, 151, 219.

430) Мне кажется, что Браконно (H. Brasconnot. Ann. de ch., 67. P. 1838, p. 104) первый обратил на это внимание. Cf. A. Delesse, I, c. 1860, 253 s.

431) C. Van Hise, I. c. 1904, 963.

432) См. В. Вернадский. Опыт описат. минер. I. П. 1908, стр. 124

433) Согласно данным Кларка (F. Clarke. Data of geochemistry, 5 ed; W. 1924, p. 35), осадочные породы содержит в среднем 1,98% углерода В. Чирвинский (Записки Киевского Общ. Естеств., 26, К. 1917, 70) нашел для осадочных пластов Киева гораздо более низкое число 0,68%.

434) O. Rosenheim. Proceedings of Royal Society, 76, B. L. 1905. p. 398. Cf. R. Daly. Americ. Journal of Sc. (4), 23, N. H. 1907, 100, 113.

435) О геохимической энергии и размножении см. В. Вернадский. Изв. Акад. Н. 1926, стр. 697. Его же. Биосфера. Л. 1926, стр. 31.

436) Эта реакция была уже указана Гумбольдтом. (A. de Humboldt. Kosmos. 1, B. 1845, p. 334.)

437) В. Вернадский, I. c. I. P. 1914, p. 562—563. Для Австралии — H. Lensen. Econ. geology. 17, L. 1922, p. 58.

438) M. Berthelot. Bull. Soc. Ch. de Paris. 11, P. 1869. 284.

439) H. Abich. Jahrb. d. geolog. Reichsanst., 29, W. 1879, p. 177 s.

440) D. Mendelejeff. Revue scientifique. P. 1877, 2, 409 s. Д. Менделѣевъ. Нефт. промышл. в Сѣв. Америкѣ. П. 1877. Его же. Нефть. Энци. Слов. Брокгауза. 20. П. 1897. 947.

441) H. Moissan. C. R. 122, P. 1896, P. 1465.

442) H. Washington. Journal of Franklin Inst., 190, 1920, p. 767. H. Washington u. F. Clarke. Composition of the Earth's crust. W. 1924, p. 5 (Geol. Surv.).

443) О первичном кальците — C. Brögger. Die Eruptiv gesch. der Chrich. Geb. IV. C. 1921, p. 194. — Брёггер развил старые представления. Его указания вызвали целую литературу.

444) В. Вернадский, *И. с.*, 2. Р. 1918, р. 95.

445) Постоянное образование муравьиных производных, муравьиной кислоты и муравьиного альдегида, как ювенильных минералов очень мало изучено. Мы знаем большое число синтезов этих тел, могущих иметь место в земных условиях, например, действие электрического тока на смесь СО и Н₂ (Броди), высокой температуры на СО и Н₂О (Вертелло), электрического разряда на СН₄ и О₂ (Макенн), электролиза воды в присутствии СО₂ (Роже), и т. д. Присутствие муравьиной кислоты или муравьиного альдегида было установлено в атмосфере (H. Henriet, C. R., 138. Р. 1904, 203, 1272, р. 39. 1904, 67. Contribution à l'étude de l'air atmosphérique, Р. 1906, р. 44 s. (их генезис в ней биохимический), в вулканах и термах. (A. Gautier. C. R. 142. Р. 1906, 1384. Муравьиная кислота образуется и «всюду, где окись углерода встречает пары воды при темном красном калении». Cf. ib., 150, Р. 1910, 1566 — формол при 450—600° Ц.) Эти два тела всегда встречаются в незначительных следах. Они также образуются как вадозные минералы, может-быть, вне прямого участия живого вещества; так, муравьиная кислота давно известна в почвах. В лаборатории они могут образоваться из СО₂, при действии света в присутствии солей уранила или коллоидальных гидратов окиси железа. (В. Моге. Biochemistry, L., 1921, р. 40 s.) Они всегда встречаются в следах и, повидимому, не устойчивы в земных условиях. Мы нигде не видим их скоплений или превращений в более сложные органические соединения. Такое иногда не биохимическое образование муравьиных производных играет большую роль в новых спекуляциях об абиогенезисе (например, у Б. Мура). Оставляя даже в стороне эти умствования, всегда основанные на часто сомнительной аналогии, история этих муравьиных производных в земной коре интересна с точки зрения различных геологических проблем (например, присутствие ее в термах). Можно думать, что эти тела не безразличны в жизненных процессах так же, как в тех же процессах могут принимать участие ювенильные воды и углекислота.

446) Существование металлических карбониллов, например, Ni (СО)₄ в глубоких слоях — гипотетично. Основываются на образовании графитов из газообразных соединений, сопровождаемом одновременным выделением железных, никель содержащих соединений. Ср. В. Вернадский, *И. с. I.* Р. 1914, р. 182, 562.

447) R. Delkeskamp. Zeitschr. f. prakt. Geologie. В. 1906, р. 40.

448) J. Boussingault. Ann. de ch. de ph., 57. Р. 1834, р. 174.

449) C. Fouqué. Le Santorin. P., 1879, р. 227.

450) C. Sainte-Claire Deville. C. R., 61, P., 1865, р. 825.

451) J. Boussingault. Ann. de ch. et de ph. (3.), 10, P., 1844, р. 456. Ср. F. Clarke. *И. с.*, 1924, р. 50.

452) Это газообразные выделения, связанные с находениями каменного угля, см., например, T. Schloesing. Ann. d. Mines (9), 11, P. 1897, р. 32.

453) H. Hviid. Das Erdöl, her. v. C. Engler u. F. Höfer, I, Br. 1913, р. 744.

454) Laspeyres. Verhandl. d. naturf. Ver. f. pr. Rheinl., В. 1894, Korresp., р. 17.

455) Факт существования больших количеств угольной кислоты в кварце гранитов, повидимому, несомненен. Он наблюдается часто. Однако, анализы Ласпейреса остаются единственными. Более новые работы над газами горных пород не приняли во внимание существования такой CO_2 . Методы этих определений обычно не позволяют различать газы, существовавшие раньше в породах, и газы, образующиеся во время опытов под влиянием водяных паров пород и кислорода воздуха.

456) A. Gautier. Bulletin de la Soc. Chim. (3), 35, P. 1906, 929. Annales des mines. (10), 9, P. 1906, p. 333 s. C. R., 142, 1906, 1384, 150, P. 1910, 1566.

457) T. Chamberlin. Gases in rocks, W. 1908 (Public. Carnegie Inst.)

458) K. Hüttner. Z. f. anorg. Ch. 43, 1905, p. 8 s.

459) A. Brun. Recherches sur l'exhalation volcanique. Gen. 1911.

460) A. Day a. E. Shepherd. Bull. of geol. Soc. of Amer., 24, 586, 1913.

461) E. Shepherd. The Journal of geology. 33. 1925. 289.

462) T. Jaggard. Amer. Journ. of Sc. (4), 44, N. 11, 1917, p. 165 et s.

463) G. Allen. Journ. of the Frankl. Inst., 193, 1922, p. 29 s.

464) F. Allen, l. c., 1922, p. 40.

465) A. Brodie. Proceed. of R. Soc., 21, L., 1873, p. 245.

466) A. Gautier. Ann. des mines (10), 9, P. 1906, p. 345.

467) Библиографию у В. Вернадского, l. c., l. P., 1914, p. 174, 179. G. Forchhammer (Oversigt Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Forh. K. 1854, p. 3 — 4.) первый указал на существование карбидов железа и никеля в самородном железе из Накорняка. Ср. о Накорняке — C. Hintze. Handb. d. Min. I. L. 1904, 165.

468) Например — самородное железо Санта-Катерина. В. Вернадский, l. c., 1914, 174.

469) Об окиси углерода. H. Le Chatelier. Leçons sur le carbone, P. 1908, p. 93, 229 s.

470) См. историю всех таких гипотез у C. Höfer u. C. Engler. Das Erdöl., II, 4 L., 1909. Любопытно, что такое происхождение нефти считает возможным и Н. Д. Зелинский, получивший искусственно нефть из сапропелита (N. Zelinsky. Brennstoff Chemie. Es. 1926. № 3).

471) C. Engler. Das Erdöl., I. Br., 1912, p. 224.

472) C. Mabery. Econ. Geology. 11, E. 1916, p. 517.

473) C. Mabery. Journ. of Amer. Chem. Soc., 41, W., 1919, p. 1691 s.

474) C. Mabery, l. c. 1916. P. 16, p. 513.

475) C. Mabery, l. c., 1919, p. 1692.

476) C. Mabery, l. c., 1916, p. 526, 1919, p. 1697.

477) F. Czapek. Biochemie d. Pflanze. III L. 1921, p. 220.

478) F. Czapek, l. c., III, 1921, p. 234.

479) История азота. — В. Вернадский, l. c. П. 1914, 600 с., 772.

480) A. Gautier. Ann. des mines (10), 9, P. 1906, 350, 563 s. A. Brun. Arch. d. Sc. phys. et chim., 19, Gen., 1905, p. 589. Rech. sur l'exhal. volcanique. Gen. et P. 1911, p. 156 s. Очень возможно, что газообразный азот химически удерживается расплавленными магмами. E. Allen. Journal of Franklin Inst., 193, 1922, p. 30, 39.

481) O. Silvestri. *Gaz. chim. ital.*, 5. Pal., 1875 p. 304. Эти наблюдения очень интересны. Ср. F. Clarke. *Data of geoch.*, 1924, p. 274. Он высказывает сомнения относительно существования силвестрита. А. Брен (A. Вгн п. *Arch. Sc. phys* (4), 19. G., 1905. 590) признает нахождение в лавах азотистого железа и азотистого кремния (мариньякита).

482) J. Stoklasa. *Berichte deutscher chem. Ges.*, 3 g. B. 1906, 3530, *Chem. Zeitung*, 30, C., 1906, 742. *Centralblatt. f. Miner.*, St., 1907, p. 161. *C. R.*, 176, P., 1923, p. 1570.

483) В. Вернадский. *Изв. Петерб. Акад. Наукъ. Р.* 1912, p. 158.

484) C. Mabery, *Econ. Geology*, 11, E. 1916, p. 519.

485) C. Mabery, l. c., 1916, p. 521.

486) C. Mabery, l. c., 1916, p. 526.

487) C. Engler. *Das Erdöl. I. L.* 1919, p. 178, 211. Это идея, высказанная И. Маркусом: J. Marcusson *Chemik. Zeitung. Coth.* 1906. 788. Cf. ib. 85, 1917, 577 s.

488) E. Lambing. *Précis de biochimie*, 3 ed. P., 1921, p. 71, F. Szarek, l. c. I. 1913, p. 784.

489) C. Palmer. *Econ. Geology*, 17. L., 1922, p. 100.

490) L. Pasteur. *Oeuvres complètes. L.*, p. 1922.

491) Об истории идеи о симметрии см. В. Вернадский. *Основы кристаллографии. I. M.* 1904. Jaeger. *Lectures on symmetry. 2 ed.* Amst. 1920.

492) P. Curie. *Oeuvres. P.* 1908, p. 119.

493) Удивительным образом идеи Кюри и сама идея симметрии не вошли сейчас в научное сознание в полной мере. Философски эта идея не обработана. О симметрии в философском аспекте см. L. Rougier. *En marge de Curie. 3 ed. P.* 1924. Работы Кюри не принимаются во внимание химиками, подробно обсуждающими эти проблемы. Ср. А. Вук. *Die Naturwissenschaften. B.* 1925. 17. П. Вальден. *Прошлое и настоящее стереохимии. Пер. Г. Горбунова. П.* 1926.

494) Очень интересный исторический обзор см. J. Duclaux. *La chimie et la matière vivante. P.*, 1920, p. 44 s. П. Вальден. *Прошлое и настоящее стереохимии. Пер. Г. Горбунова. Л.* 1926.

495) Biot. *Mémoires de l'Acad. d. Sciences de Paris*, 13, P., 1853, p. 139.

496) P. Waiden. *Chemiker Zeitung*, 30, Coth., 1906, p. 391, где он излагает историю вопроса. Ср. еще Л. Чугаевъ. *Журналъ русск. физ.-хим. общ.* 36, P., 1904, 453. П. Вальденъ. *ib.*, 607. Об истории вопроса еще C. Engler (u. M. Beyer). *Das Erdöl. I. L.* 1912, p. 175 s.

497) C. Engler, l. c., I, 1912, p. 192.

498) C. Engler, l. c., I, 1912, p. 177. Он дает библиографию.

499) Существуют даже сомнения относительно «нефти» Био. Быть может, это не природная нефть. См. C. Engler, l. c. I. 1912, p. 175 — 176.

500) Нельзя, однако, забывать, что отсутствие на нашей планете иной энантиоморфной среды, чем живое вещество, не может считаться вполне установленным. В явлении, как оно проявляется в нефтях, важно с этой точки зрения не то, что нефти вращают плоскость поляризации света, а то, что преобладает одно определенное напра-

вление вращения. Вращают и кристаллы кварца, например, — и для кварцев мы, несомненно, имеем энантиоморфное распределение атомов. Но никогда не наблюдалось, чтобы в каком-нибудь месторождении кварца преобладали правые или левые кристаллы. Их количество будет всегда приблизительно равным. Среда их образования не энантиоморфна: она относится безразлично к появлению и левых и правых форм. В живом веществе есть явное ее влияние на образование одной из энантиоморфных разностей. К сожалению, вращающие плоскость поляризации кристаллы, кроме кварца, не изучены с этой точки зрения.

501) J. S. Newberry. *Americ. Journal of Science* (2), 23. N. H. 1857, p. 212. Report of the geolog. Survey of Ohio, I, Col., 1873, p. 153 s.

502) H. Abich. *Mémoires de l'Acad. d. Sciences de St. Pétersbourg.* (7), 6, N, 5, P, 1863, p. 52. А б и х позже изменил свой взгляд на генезис нефтей, см. стр. 153.

503) A. Roche. *Biographie de Renault.* Aut. 1905 (Mem. Soc. Nat. d'Autun. 18). C. Barrois. *Annales de la Soc. Géol. du Nord.* 44, 1919, L. 1920, 47 (биография С. Bertrand).

504) H. Potonié. *Die Kaustobioliten.* 1 — 3, В. 1908 — 1915 (Abhandl. d. Preus. geol. Landesanst). Его же. *Die Entstehung der Steinkohle u. d. Kaustobioliten.* 2 Aufl. Her. von W. Gothan. 1920.

505) Открытие бактерий в глубоких нефтяных скважинах заставляет сейчас менять наши представления о генезисе нефти. Может-быть, анаэробная жизнь вызывает создание нефтей, и мы имеем тогда процесс, идущий в основных чертах все время в пределах биосферы. О бактериях, питающихся нефтями, см. J. Tausz u. M. Peter. *Centr. f. Bacter.* 49. 1920. 489 сл.

506) О пределах жизни: В. Вернадский. *Биосфера.* Л. 1926, стр. 102.

507) Об этом В. Вернадский. *Химич. состав живого вещества.* П. 1922.

508) См. соображения К. Калицкого. *Геология нефти.* П. 1921.

509) В. Вернадский. *Биосфера.* Л. 1926, стр. 118 сл.

510) В. Вернадский, *ib.*, стр. 138.

511) О химическом составе каменных углей см. обзор Д. Флорентена: D. Florentin. *Bull. de la Soc. Chim. de France* (4), 91, P. 1922, p. 729 s. Ср. Fischer u. H. Schrader. *Festschrift d. Kais. Wilhelm Gesellschaft.* В., 1921, p. 64, D. Jones'a. R. Wheeler. *Trans. of Chem. Soc.*, 105, 1914, 141, 106, L. 1916, p. 709, 109, 1916, 707. M. Stopes'a. R. Wheeler. *Monography on the constitution of coal.* L. 1918, T. Drakeley. *Journ. of the chem. Soc.*, 121, L. 1922, p. 221. H. Schrader. F. Fischer. *Entstehung u. ch. Str. d. Kohle.*, 2-e Aufl. 1922 A. Pictet. *Acta chim. helvetica.* 1923. 627. R. Potonie. *Einführung in. d. allgem. Kohlenpetrogr.* В. 1924.

512) См. В. Вернадский. *Химич. сост. жив. вещ.* П. 1922 (по-французски в *Revue génér. des Sciences.* P. 1923). В. Вернадский. *Биосфера.* Л. 1926.

513) C. Bertrand et B. Renault. *Annales de la Soc. Géol. du Nord*, 20, L, 1892, 213, *Bull. Soc. Hist. Nat. d'Autun*, 5. A. 1892, 159, 6, 1893, 321. *Bull. Soc. Jnd. Min.* (3) 7. 1893, 499 s. C. R., 97. P. 1893,

593, B. Renault. Revue génér. d. Sc., 7, P. 1896. Bull. Soc. Hist. Nat. d'Autun, 6, A, 1893, 487, 7. A. 1894, 468, 10, 1897, 433, 16, 1903. Procès-verb 149 s. B. Renault et Roche, ib., II, A., 1898, p. 201 s.

514) A. Briart. Formation de la houille. 1867.

515) L. Orton. Americ. Journal of Science (3), 24, N. H. 1882, 171.

516) J. S. Newberry. Annals of the New-York Acad. of. Science, 2. N.-Y. 1882., p. 267, 358.

517) H. Filhol, Etudes sur le terrain houilles de Commentry, I. St. Et., 1887 (Bull. Soc. Jnd. Min.). Cp. H. Fayol. Notice sur les travaux scient. et techn. de Filhol. P. 1918.

518) C. Grand'Eury. Annales des Mines (8) I. P., 1882, 101. Formation des couchés de houille et de terrain houiller. P. 1887. (Mém. Soc. Géol. 4). Recherches géobotan. sur les fôrets et sols fossiles I. P. 1912—1914.

519) М. Залѣсскій. Очеркъ по вопросу объ образ. угля. П. 1914. Его же. Ест. исторія одного каменнаго угля. П. 1915. (Тр. Геол. Ком. 139). Извѣстія Геол. Ком., 139, П., 1915, Извѣстія Петерб. Акад. Наукъ П. 1917. 3.

520) Cp. D. White a. R. Thiessen. The origin of coal. W., 1913 (Bull. of. Bureau. of mines, 38), p. 62 s. Cp. D. White. Econ. geology, 3. Lanc., 1908, p. 292 s.

521) В. Вернадскій. Биосфера. Л. 1926. Стр. 144.

522) М. Ткаченко. Лѣса Соединенныхъ Штатовъ. П. 1914, 28 — 29.

523) W. Schailer. Ann. Rep. of. U. S. Geol. Survey 10 W., 1890, p. 313 s. Уже А. Лескерè указывал на интерес, который представляет с этой точки зрения исследование Дисмаля (L. Lesqueureux. Americ. Jour. of. Sc. (2), 28, N. H. 1859, p. 27).

524) J. S. Newberry. Annals of. New-York Acad. of. Sc., 2., N.-Y., 1882, p. 358.

525) К сожалению, «Васьюганское море», представляющее один из последних остатков в Евразии великого природного явления, не изучено. Не существует научного его описания. Cp. А. Отрыганьевъ. Краткое опис. Нарым. края. П. 1910. Другое скопление живого вещества — «Великий Луг» на Днепре — было уничтожено в XIX в.; от него сохранились лишь описания XVI—XVII вв. (например, XVI в. француза Боплана). Большие скопления Дуная и Рейна были совершенно изменены человеком уже многие века назад.

526) P. Kendall. Rep. of the British Assoc. for adv. of Science, 90. L. 1922, p. 50 s.

527) В обычных условиях озер и рек они большей частью немедленно разрушаются бактериями. Н. Воронковъ. Планктонъ прѣсныхъ водъ. М. 1913, стр. 264.

528) Этим обуславливаются переходы между каменными и битуминозными углями и те разнообразные продукты, которые в небольшом количестве могут быть открыты в их месторождениях. К сожалению, они химически и минералогически редко изучаются. Все же в общем деление на две группы очень резкое в зависимости от обычной однородности сгущений живого вещества в биосфере. Я вернусь в другом месте к этому характерному явлению в сгущениях жизни — к выделению однородного живого вещества.

529) Теории неорганического (ювенильного) генезиса нефтей существуют и имеют последователей между учеными, но неуклонно становится ясным, что к большим скоплениям и к нефтяным областям они не приложимы. Недавно к такому мнению склонился Де Стефани под влиянием исследований находжений нефти в Италии (De Stefani. Atti d. Acad. d. Lincei (5) 31, R., 1922, p. 293). Видные румынские геологи до сих пор стараются доказать ювенильное происхождение Карпатских нефтей. Однако, это мнение далеко не единодушно. Ср. J. Voitești. Aperçu génér. sur carte géol. de la Roumanie, Buc., 1921, p. 595. Ср. прим. 470.

530) Это процесс в значительной мере биохимический, см. В. Вернадский. Опыт опис. мин. I. 1914, стр. 564. История минер. земл. коры. 1. 2. Л. 1926, стр. 369. Частью действует озон.

531) О значении газов дыхания для геохимической энергии см. В. Вернадский. Биосфера. Л. 1926, стр. 45. Известия Академии Наук. Л. 1926, стр. 697, 728.

532) Dumas et Roussingault. Essai de statique chimique des êtres organ. 3 éd. P. 1844, p. 45 — 46.

533) Я разбираю эти вопросы — в указанном здесь аспекте в моих работах: Изв. Акад. Н. Л. 1926, стр. 697, 728, 1053. Биосфера. Л. 1926, стр. 46.

534) J. Haldane. Mechanism, life a. personality, L. 1917, p. 93.

535) Ср. В. Вернадский. Биосфера, Л. 1926, стр. 30 сл.

536) A. van Leeuwenhoek (1632—1729). О философском значении его открытий, см. С. Windelband. Geschichte d. neuer. Philos. I. 2 Aufl. L. 1899, p.

537) A. v. Humboldt. Tableaux de la nature. Tr. C. Galusky. 2. P. 1851, p. 1—2. В первом издании (1808) это высказано менее ясно.

538) A. de Humboldt, I. c., II, 1851, p. 6.

539) C. v. Baer. Reueil des actes de la séance publique de l'Acad. des Sciences de St. Petersburg le 29 déc. 1838, Spb., 1839, p. 145 (Reden, I. Spb., 1864, p. 178).

540) Ch. Darwin. Voyage d'un naturaliste. Tr. par E. Barbier. P. 1875, p. 70.

541) См. В. Вернадский. Биосфера. Л. 1926. 108.

542) Часто констатируют необходимость большой поверхности организма для энергии материального обмена — дыхания, воспроизведения, — не выводя из этого геохимических следствий. Например, F. Tangl. Energie, Leben u. Tod. В. 1914, p. 18.

543) C. Wilcke ap. C. a Linné. Ammoenitates Academ. 6, Holm. 1763, p. 27.

544) См. В. Вернадский. Известия Акад. Н. Пет. 1926, стр. 702.

545) C. Ehrenberg. Zur Microgeologie, L. 1854, p. VIII—IX.

546) J. Thomson. The systeme of animate nature, 1, L. 1920, p. 54.

547) F. Cohn. Die Pflanze. 2, Br., 1897, p. 450.

548) См. В. Вернадский. Известия Акад. Наук. Л. 1926, стр. 719, 743.

549) W. Hudson. The naturalist in La Plata, L. 1892, 59. С. Четвериковъ. Извѣстія Общ. Любит. Естеств. 98. М. 1905, стр. 106 сл.

550) Forti. Nuovo giorn. botan. ital., 13. F. 1906, p. 357 s.

- 551) E Wolf. Bericht d. Senkenberg. Gesellsh. F. a. M., 1908, 2, p. 58 s.
- 552) C. v. Baer. Reden (1838), 1, 2 изд., Br. 1886, 182. Его же. Труды Энтомологического Общества, 1; П., 1861, стр. 7—8.
- 553) W. Crookes. Wheat problem. 3 ed., L., 1918, p. 62. Тридцать-кварт зерен пшеницы на акр.
- 554) J. Duclaux. La chimie de la matière vivante. P. 1920, p. 70—73.
- 555) A. de Humboldt. Essai politique sur le royaume de la Nouvelle Espagne, 2 éd. 2. P. 1827, p. 389, 394. J. Boussingault. C. R., 3, P. 1836, p. 444. P. Sagot. Manuel pratique des cult. tropic. Publ. par E. Raoult. I. P. 1893, p. 214.
- 556) P. Sagot—E. Raoult, l. c., 1893, p. 53.
- 557) Определений нет. Богатство вод тундр и болотистых почв Севера органическими веществами, очевидно, связано с богатством жизни. О большом количестве жизни в лугах Северной России. А. Журавский. Извѣстія русского Географического Общества, 45. П., 1909, 200 сл.
- 558) Можно это видеть из того, что количество органических веществ почв достигает до 15% веса сухой почвы. Значительная часть этого органического вещества живая, так как проникнута бактериями и мелкой, микроскопической жизнью вообще. Очевидно, вес живых организмов (имея в виду, что они содержат до 70% и больше воды) должен составлять несколько процентов веса почвы.
- 559) Зеленые растения—половина всего живого вещества,—см. В. Вернадский. Биосфера. Л. 1926, стр. 95.
- 560) В. Вернадский, ib. 1926, стр. 118 сл.
- 561) Общая сводка.—V. Hensen. Das Leben im Ocean. K. u. L. 1911. (Ergebnisse der Plankton Expedition, 5).
- 562) E. Allen. Journal of the Marine biol. Assoc. N. s. 12, Plym. 1919, p. 7.
- 563) P. Boyesen Jensen. Report of the Danish Biological Station, 22. C. 1915, p. 16. Число 15 тонн дано В. Гензеном (1887).
- 564) C. Petersen, ib., 20, P., 1911, p. 30.
- 565) См. W. Vernadsky, Известия Акад. Наук. Л. 1926, p. 732.
- 566) P. Boyesen Jensen, ib., 26, P., 1920, p. 43.
- 567) P. Boyesen Jensen, l. c., 1915, p. 17.
- 568) Для морских животных бентоса можно, на основании работ Петерсена, определить содержание углерода в 5% (стр. 191). В зеленых растениях будет заключаться 9%, принимая 45% С в сухом веществе. А. Кнор. Der Kreislauf d. Stoffes, L. 1868, p. 152—153) и 80% H₂O. В животных—15% С, принимая 50% С в сухом веществе (согласно Кнопу) и 70% H₂O.
- 569) Для морских животных мы имеем данные Петерсена (C. Petersen. Rep. of Dan. Mar-Biol. St., 20, K. 1911, p. 51). Он нашел, что сухое органическое вещество (и соль), за исключением скелетных частей и раковин, образует от 3,8° (Ophioglypha) до 19,9° (Chaetopodes) веса живого вещества организма. Однако, происходит потеря углерода при сушке до 100° Ц. Большая часть углерода сосредоточена в карбонатах скелетных частей и раковин. Анализы в среднем дают до 4,9% углерода,

считая, что углерод образует половину сухого органического вещества. Очевидно, это число минимально для организмов, богатых скелетом и раковинами.

570) Определения Ле Шателье (H. Le Chatelier. Leçons sur le carbone. P. 1908, p. 35) дают для углерода живого вещества континентов и островов — 1×10^{10} метрических тонн. Принимая для такого определения данные Дюкло (15 метрических тонн сухой углеродистой материи на гектар), мы получаем для того же количества $п \times 10^{11}$ метрических тонн. Ерену (Die Naturwissenschaften, В., 1920, p. 1033) дает как ежегодный продукт земной растительности $1,5 \times 10^{10}$ метрических тонн углеродом.

571) Во французском издании (1924) я допускал 10^{13} — 10^{14} тонн. Вероятно, это число слишком велико.

572) *Compte de Buffon. Histoire naturelle. Oeuvres compl. Ed. E. de Lanessaп., 8. P. (1883), 534, 4, p. 406. Eпоques de la nature. 2, P. 1780, p. 204 s. Cf. P. Flourens. De la longevité humaine et la quantité de vie sur la globe, P., 1854, p. 99 s.*

573) Cf E. Du Bois Reynard. Reden. I, Br., 1886, 43. W. Windelband. Geschichte d. neuer. Philos., I, L. 1899, p. 388. История этих идей не написана; корни их лежат в древних представлениях о вечности жизни и о ее космическом характере. Однако, эта история скорее относится к области философии, чем науки.

574) Я не могу здесь глубже касаться истории этих идей. Надеюсь вернуться к ней в другой работе. Интересны этюды Снядецкого и А. Брандта. J. Sniadecki. Teorya jestestw. organicznych. I. Wilna. 1804, p. 40 s., 56, 65. 181, А. Брандтъ. Числовое равновѣсіе животныхъ въ борьбѣ за существованіе. П. 1879, p. 18—19.

575) W. Preyer. Naturwissenschaft. Wochenschrift. 6, В., 1891, p. 94 s.

576) C. v. Ваег (1838). Reden, 2 Aufl., Br., 1886, p. 196.

577) В. Вернадский. Химич. состав. жив. вещ. П. 1922.

578) В. Вернадский. Живое вещество и химия моря. П. 1923.

579) Источники этих идей мы найдем у философов природы XVIII—XIX вв. Вдумчивые натуралисты, как Ч. Дарвин, Г. Бунге и другие, их принимали во внимание. Среди многочисленных работ см. — R. Quin-ton. L'eau de mer milieu organique, P., 1904. A. Massalim. The palaeochemistry of the Ocean in relation to protoplasma. Tor., 1904 (Trans. of Canad. Inst. 1903—1904).

580) Ср. В. Вернадский. Жив. вещ. и химия моря. П. 1923.

581) См. историю вопроса у Чапека — F. Czapek. Biochemie d. Pflanzen, I, 2 Aufl. J., 1912, p. 7 s. Ср. T. de Saussure. Recherche sur la végétation. P. 1804, p. 49.

582) F. Czapek, I. c., I. 1913, p. 509. Dumas et Boussingau et. I. c., 1844, p. 140, Senebier. Recherches sur l'infl. de la lumière sol., P. 1783. Роль Сенебье оспаривается Визнером, который выдвигает Ингенгоуза. См. Wiesner. Ingen Housz. W. 1905.

583) S. Haies. Statical essays. I. (1727) 3 ed. L. 1738, p. 324 s.

584) D. Mackbridge. Essais d'expériences. Trad. M. Abbadie. P. 1766, p. 363 s.

585) J. Dumas et J. Boussingault. Essai d'une statique des êtres organisés, 3 ed., P. 1844, p. 140.

586) С исторической точки зрения интересно, что верные представления обоих ученых, выразивших их независимо друг от друга (Паррот гораздо раньше А. Броньяра), проникнуты самыми неправильными теориями и фантастическими идеями. Паррот, хороший физик и экспериментатор, говорит о роли CO_2 в связи с происхождением каменного угля, в популярных спекулятивных сочинениях. Броньяр хочет основываться на конкретных фактах, но в действительности опирается на теории, которые ему представляются несомненными, но которые, как нам известно, ложны. Об Ад. Броньяре см. J. Dumas. Discours et éloges académiques, 2. P., 1885, 36—37, 51.

587) G. Parrot. Mémoires de l'Acad. d. Sciences de St. Pétersbourg. (6), 1. P., 1831, p. 658, 666, — в которых Паррот защищал свой приоритет. Справедливый ответ А. Броньяра. A. Brongniart. Annales des Sc. natur., 20, P. 1830, p. 427 s.

588) A. Brongniart. C. R. P. 1837, 409. Annales des Sciences Natur., 15. P., 1828, p. 252.

589) J. Sachs. Gesch. d. Botanik, M. 1875, p. 404, 574. F. Czapek, l. c., I. 1913, 510 (библ.). См. мемуар Буссенго. 1834 года — J. Boussingault. Ann. de ch., 57. P., 1834, p. 172—173.

590) Очень возможно, что сапрофиты также могут поглощать газообразную угольную кислоту. А. Лебедев. Известия Донского Унив., I, P. 1921, p. 31 с.

591) F. Raspail. Nouveau système de chimie organ. P. 1833, p. 3215, 332.

592) L. Henderson. The order of Nature. C., 1917, p. 5.

593) L. Henderson. Umwelt d. Lebens. Autor. Ub. W., 1914, p. 72, 85.

594) H. Lundegårdh. Der Kreislauf d. Kohlensäure in d. Natur. I. 1924, p. 111, 211.

595) H. Lundegårdh. l. c., 1924, p. 151 сл.

596) H. Lundegårdh, i. c., 1924, p. 14, 224, ран.

597) F. Clarke. Data of Geochemistry, 5-th ed., W., 1924, p. 50.

598) T. Schloesing. C. R., 81, P. 1875, p. 82, 1852, 82. P. 1876. 749, 90, P., 1880, p. 1411. Его же. Contribution à l'étude de chimie agric., P., 1885, p. 14. (Encycl. chim.). Ср. H. Lundegårdh, l. c., 1924, p. 35 сл.

599) A. Krogh. Meddelelser om Gronland, 26, 1904, 349 s. K. Buch, Ueber Alkalien u. Wasserstoffionenconc. in Wasser d. Finland, H, 1917, p. 118 (Finlands Hydrogr. Biol. Untersuchungen, 14).

600) T. Chamberlain. Journal of geology, 5, Ch., 1897, p. 682, C., Ch., 1898, 614, 7. 1899, p. 550 s.

601) L. Henderson. Die Umwelt d. Lebens. Wiesb., 1914, p. 80.

602) Озера и реки — места интенсивного обмена газов. Это явление все еще недостаточно изучено. Озера наших стран почти непрерывно выделяют угольную кислоту в воздух. Озера наших стран почти непрерывно выделяют угольную кислоту в воздух. Их угольная кислота биогенна, например, для Дании. A. A. Krogh. Meddelelser om Gronland, 26, K., 1904, p. 384 s. C. Wesenberg — Lund. Intern. Revue f. Hidrologie, 4, 1912, 452.

- 603) Непосредственное выделение угольной кислоты из каменного угля, вероятно, гораздо более обычно, чем думают. Н. Le Chatelier. *Leçons sur le carbone*, P. 1908, p. 110.
- 604) A. Krogh. *Meddelelser om Gronland*, 26. K., 1904, p. 419.
- 605) F. Clarke., l. c. 1924, p. 51.
- 606) Sterry Hunt. *Am. J. of Sc.* (3), 19, N. H. 1880, 356 s.
- 607) F. Clarke, l. c. 1924, p. 53 (библ.).
- 608) Согласно Ф. Кларку (*Data of geochemistry*, 5-th ed., W. 1924, p. 138), $9,6 \times 10^8$ метр. тонн CO_2 .
- 609) Определение С. Чемберлена (Т. Chamberlin, *Journal of geology*, 7, Ch., 1899, p. 682), исчисляющего для общей массы CO_2 , выделенного этим процессом в течение года, — $1,6 \times 10^8$ метр. тонн, несомненно, ниже действительности.
- 610) S. Arrhenius. *Das Werden der Welten*. Ueb. von. L. Bamberger. L., 1907, p. 50.
- 611) J. von Liebig. *Die Chemie in ihrer Anwendung on Angricul-tur*, 8. Aufl. Br., 1876. II, p. 9.
- 612) Средние урожаи увеличились в Средней Европе с 1880 по 1910 в среднем на 43% на гектар (18% для Франции, 68% для Германии). W. Beveridge. «Population and Unemployment». *The advancement of Science* (Brit. Ass. for adv. of Sc.) F. L., 1923, p. 9.
- 613) Животные организмы, вероятно, не вполне инертны по отношению к угольной кислоте воздуха и водных растворов.
- 614) Ср. Т. Chamberlin. *Journal of geol.* 6. Ch., 1898, p. 609, 7. 1899, 549, 667, 756.
- 615) Библиография у F. Clarke — l. c., 1920, 49—50.
- 616) S. Arrhenius, l. c., 1907, p. 57.
- 617) Согласно С. Аррениусу (l. c., 1907, p. 50), удвоение угольной кислоты в воздухе должно было бы иметь последствием увеличение живого вещества в три раза.
- 618) G. v. Baer, l. c., I. Br., 1886, p. 225.
- 619) J. Sniadecki. *Teorya jest. organ.*, 846, I, Wilna, 1804, p. 63.
- 620) A. Rothpletz. *Amer. Geologist*, 10. Min., 1892, p. 279. E. Wetherell. *Quart. Journal of geolog. Soc.*, 51. L., 1896, p. 1965, 204. T. Brown. *Bulletin of geolog. Soc. of America*. 25. 1914. 772. K. Andréе. *Geologie d. Meeresbodens*. 2. 1920, p. 180 сл., 186.
- 621) G. Drew. *Publications of Carnegie Institution of Washington*. № 182, 1914, p. 33 s. А. Православлев. *Труды Ленингр. Общ. Ест.* 54, 4. (Геол. и минер.), Л. 1924, стр. 4 сл. (литер.).
- 622) G. Steinmann. *Berichte natur. Gesellsch. Freiburg*. 4. F. 1889. 288. Возражения К. Andréе. l. c., 2. 1920. 191.
- 623) М. Усов. *Каустобиолиты*. Т. 1920, 41.
- 624) P. Klason. *Ber. Deutsch. Chem. Ges.*, 53. B., 1920, 1869.
- 625) F. Fischer u. N. Schrader. *Festschrift d. Kaiser Wilhelm Gesellschaft*. B., 1921, p. 64—65. F. Fischer *Zeitschrift. deutscher geologischen Gesellschaft*. B. 1926.
- 626) E. Schmidt. *Zentralbl. f. Bacteriol.* (2), 52, J., 1921, p. 281.
- 627) Принимая числа Джонстона и Уильямсона для 15° Ц;

см. C. Schuher t в The evolution of the Earth. N. Hav. 1918, p. 52 (publ. by Yale Univ.) 154×10^{14} метр. тонн.

628) C. Van Hise. A treatise on metamorphism. W. 1904. p. 904. H. Le Chatelier. Leçons sur le carbone, P. 1908, p. 35.

629) Еще недавно эту массу считали менее значительной. Энглер (C. Engler — Ueb. d. Zerfallprocesse in d. Natur. L. 1911) определял количество всех каменных углей в 3×10^9 метр. тонн. с 75% углерода, т.-е. указывал всего 2.25×10^9 метр. тонн углерода. Я взял число 7.4×10^{12} метр. тонн угля, соответствующего 6×10^{12} м. т. углерода, беря для антрацита (М. Усов, I. с., 1920, стр. 46) 95% C., для каменного угля 82% C., для битуминозных углей и лигнитов 71% C.

630) Принимая 10% сухого вещества воды рек (10,33%, согласно Муррею (J. Murray. Scott. geograph. Magazine, 3. E. 1887, p. 65) и количества ее сухих веществ, растворенных, согласно Ф. Кларку (F. Clarke, I. с., 1920, p. 112).

631) V. Herdman (Nature, 105, L. 1920, p. 882) думает, что количество растворенного углерода в виде органических веществ не превышает 1 миллиграмма на литр воды, т.-е. составляет около 1×10^{-4} (1,6 $\times 10^{12}$ метр. тонн). Повидимому, расчеты Хердмана слишком низки. Старинные определения Наттерера (C. Natterer. Denkschr. d. Wien. Akad., 60, W., 1893. Ber., p. 50) для Средиземного моря давали 7.93^{mg} в 100 куб. сант., более новые определения Петерсена (C. Petersen. Report of the Danish Mar. Biol. St., 20 k., 1911, p. 30) для датских вод, 6.57^{mg} в 100 куб. сант., т.-е. отвечают массе порядка $n \times 10^{13}$ — $n \times 10^{14}$ метр. тонн. Определения Минервини (P. Minervini Zeitschrift f. Hyg., 32, L., 1900, 191 — 192) в Атлантическом океане дают числа того же порядка (9×10^{-3} т.-е. $1,5 \times 10^{14}$ метр. тонн). Я не говорю уже о более высоких числах Пюттера, вызывающих большие возражения. Однако, критика сделанных им заключений не решила окончательно поставленной им проблемы, и, повидимому, выставленное им положение о значении растворенных органических соединений для питания высших водных животных в значительной части правильно.

632) F. Clarke. Data of geochemistry 5 ed., W., 1924, p. 34.

633) F. Clarke (I. с., p. 51) считает, что вся масса углерода осадочных пород в 3×10^4 раза больше, чем масса углерода в атмосфере. Вычитая из этого числа углерод известняков, мы получим массы, соответствующие 8×10^{12} метр. тонн углерода.

634) A. Smith. Quart. Journal of Chem. Soc., II. L. 1859, p. 230. Таким образом, согласно его мнению, в трубах теряется один процент веса угля.

635) G. Bischof. Lehrbuch d. chem. u. phys. Geol., I, Boun., 1847, p. 971

636) Испарение воды Средиземного моря при обыкновенной температуре дает сперва небольшое отложение $CaCO_3$ со следами Sr и гидратов окисей железа (биохимическое). Более концентрированные растворы осаждают гипс. L. Dieulafait. R. Scient., 4. P. 1882, p. 36. Cf. J. Usiglio. Ann. de ch. et de ph. (3), 27. P. 1849, p. 175.

637) В современной научной литературе часто встречаются идеи, противоположные выраженным здесь. Так, с одной стороны, думают, что древние океаны были более богаты кальцием, чем современные, с другой стороны, что они совсем не содержали кальция. Первая гипотеза Хэнта

(T. S. Hunt), впервые в — *Americ. Journ. of Sc.* (2), 39, N. H, 1863, 185 s) была основана на космогонических представлениях и почти не имеет теперь последователей; вторая гипотеза Дали (R. Daly впервые в *Americ. Journ. of Sc.* (4), 23, 1907. 93) опирается на палеонтологические факты — на отсутствие организмов с известковыми скелетами в древних периодах и их внезапное появление в нижнем кембрии. (Ср. В. Lull, в сборнике *The evolution of the Earth a. its inhabitants*, N. H. 1918, p. 113.) Нужно отметить, что механизм, предположенный Дали, не противоречит геохимическим данным. Он считает, что «кальциевая функция» появилась лишь в кембрии. В предыдущие времена морская вода теряла свой кальций вследствие действия гниющего живого вещества, извлекавшего весь кальций из воды и отлагавшего его в виде извести. Окончательный результат был тем же самым. Весь кальций морской воды собирался в виде углерода под влиянием живого вещества. Дали предполагает только, что интенсивность процесса была значительнее, и кальций извлекался в большем количестве, чем теперь. Это не необходимое следствие из его гипотезы, и оно не опирается на фактах. Библиография, см. F. Clarke, l. c., 1924, p. 142. Raymond. *Americ. Journ. of Sc.*, 202, N. H. 1921, p. 433.

638) C. Ehrenberg. *Die Bildung d. Kreidefelsen. u. d. Kreidemergels aus mikrosk. Organismen.*, B: 1839.

639) C. Ehrenberg, l. c., 1839, p. 4—5.

640) F. Clarke, l. c., 1924, 119—120. Данное число — другое — $3,9 \times 10^8$ метр. тонн. Cf. F. Clarke, l. c., 1924, 138.

641) F. Clarke (*Proceed. of Americ. Philos. Soc.*, 51, W. 1912, p. 229) дает $5,5 \times 10^8$ метр. тонн. Cf. Clarke, l. c., 1924, 138—139.

642) Кислород также выделяется растениями из нитратов, как то показал Шлезинг (L. Maguene et E. Demoussy. *Nouvelles recherches sur l'échange gazeux des plantes*. P. 1913, p. 2. В. Moore. *Biochemistry*. L. 1921, p. 70 s.). Но нитраты в земной коре всегда биогенны и генетически связаны с свободным кислородом.

643) Количество этого кислорода, таким образом выделенного, должно было бы быть в несколько раз больше количества кислорода в атмосфере (T. S. Hunt. *Amer. J. of Sc.* (3), 19, N. H. 1880, p. 353). Большая часть этого кислорода, очевидно, немедленно вступает в новые соединения.

644) R. Mayer (1844). *Die Mechanik d. Wärme*, her. v. J. Weyrauch, 3 Aufl. St., 1895, p. 74 s.

645) R. Mayer. (1871), *ib.*, p. 404—405.

646) F. Redi. *Esperienze intorno alla generaz. d. insetti* (1668). *Opere*. F., 1712, p. 13. A. Vallisneri. *Considerazioni ed esperienze intorno alla generazione d. vermi*. Pad., 1710, p. 5. Принцип Реди не принят в текущей научной литературе о природе, и вытекающие из него выводы противоречат обычным научным представлениям.

647) В. Вернадский. *Начало и вечность жизни*. П. 1922.

648) В последнее время придают большое значение синтезам производных муравьиной кислоты, полученных под влиянием ультрафиолетовых лучей и катализаторов в коллоидальных псевдорастворах, исходя из угольной кислоты и воды. В них даже усматривали первый шаг

к синтезу организма (F. Moore. *Biochemistry*. L. 1921, p. 35 pass). Но при современном состоянии знаний невероятным представляется, чтобы следы производных муравьиной кислоты, образующихся во время земных химических процессов, могли бы давать начало живому веществу в земных условиях. Они, во-первых, чрезвычайно не устойчивы в термодинамических и химических условиях земной коры и, во-вторых, никогда в ней не скопляются. Это быстро исчезающие следы. Однако, их история еще не ясна, и возможно, что мы найдем факты, которых в настоящее время не ожидаем (стр. 154).

649) Ср. стр. 223.

650) W. Thomson. *Philos. Magazine* (4), N. L. 1852, p. 13. Д. Вертелло указал на высказанное здесь положение Томсона. Томсон высказал его без доказательств очень кратко в одной фразе, считая это заключение аксиоматическим. C. Guye. *L'évolution physico-chimique*. P. 1922, p. 113.

651) H. Helmholtz. *Wissenschaftl. Abhandlungen*, 1882, II, L. 1882, 972. См. C. Guye. *L'évolution physico-chim.* P. 1922, p. 80, 113.

652) S. Podolinsky. *La revue Socialiste*, L. 1880, p. 353. *Die Neue Zeit*, I, St. 1883, p. 422, 456. О С. Подолинском, русско-украинском ученом и политике (1851—1889?), см. М. Грушевський. *З починів українськ. соціалізму*. М. Драгоманові. Женев. соціал. гурток. Від. 1922, стр. 10.

653) H. Bergson. *L'évolution créatrice*. Ed., 18, P. 1918, p. 275 et pas.

654) J. Joly. *Scient. proceedings of R. Soc. of Dublin*. 7. D. 1891, p. 61 сл. То же в *The birth time of world.*, L. 1915, p. 60 сл.

655) B. Auerbach. *Eutropismus*, L. 1910 (есть русский перевод).

656) Можно его считать статистическим принципом, оставляющим нас в неведении относительно явлений, относящихся к элементам совокупностей, например, к атомам, к индивидуумам и пр.

657) Остроумные замечания Ги. C. Guye, P. c., 1922, p. 91 s. Ср. B. Moore. *Biochemistry*, L. 1921, p. 2. H. Zwaardemaker. *Comptes Rendus de la Soc. Biol.* 90. P. 1924, p. 68.

658) В. Вернадский. *Изв. Акад. Наук*. Л. 1927.

659) В. Вернадский, I. c. 1. 1914, стр. 564 (лит.).

660) B. Schuchert в *The Evolution of the Earth*. N. H. 1918 (publ. by Vale Univ.), p. 66.

661) H. Bergson. *Evolution créatrice*. P. 1918, p. 181.

662) J. Fournet. *Du mineur, son rôle et son influence sur le progrès de la civilisation*, L. 1862, p. 147, 453. Фурне был одним из первых понявших геологическое значение этой работы человечества. Однако, уже в XVIII в. великий Бюффон был его предшественником. Его идеи о геологической роли цивилизованного человека опередили его век. Ср., напр., его *Compte de Buffon. Les époques de la Nature*, 2, p. 1780, p. 205—206. Ср. новые построения у W. Perry. *The children of the Sun*. L. 1923 p. 56 сл.

663) В. Вернадский. *Очерки и речи*, I (1916). П. 1922, стр. 52 сл.

664) Одним из выводов является неизбежность превращения человека в автотрофное животное, т.е. создание новой формы живого вещества. Об этом W. Vernadsky. *Revue gén. d. Sciences*. P.

1925. p. 495. Об автотрофности см. В. Вернадский. Биосфера. Л. 1926. стр. 109, 114, 139. Ср. представление о будущем человека и планеты Б. Вейнберга. Сибирская Природа, № 2. О. 1922, стр. 20 сл.
- 665) A. Kovařík. Physical Review. 23, N. Y, 1925, p. 572.
- 666) O. Hahn u. L. Meitner. Zeitschrift f. Physik. 34. B. 1925. 807 сл. L. Meitner. ib. 26. 1924, 169, ib. 34. 1925, 795.
- 667) L. Mardson a W. Lantoburry. Philos. Magaz. (6), 30, L. 1915.
246. E. Rutherford. Proceed. R. Soc. A., 97, L. 1920, p. 377 s.
- 668) E. Rutherford. Radioact. substances. C. 1913, p. 468, 518.
- 669) Эта химическая устойчивость быть может еще больше в пластах земли, лежащих под земной корой. Возможно, что эти глубокие пласты химически неизменны.
- 670) O. Hahn. Festschrift d. Kais. Wilhelm. Gesellsch., B. 1921, p. 103.
- 671) O. G. Le Bon, см. E. Picard. G. Le Bon et son oeuvre, P. 1909, p. 52 (bibl.) Ср. В. Вернадский. Очерки и речи. I. П. 1922, стр. 34.
- 672) Идеи Г. Ле Бона об общей радиоактивности материи связаны с его общими философскими взглядами и остаются вне пределов современной научной работы. Его построения лишь отчасти соответствуют установленным фактам и, с другой стороны, противоречат им. Та же идея была выражена в другой форме после него другими учеными в рамках других представлений о мире; она в настоящее время очень распространена. Cf. G. Le Bon. L'évolution de la matière. P. 1909. L'évolution des forces. P. 1910 (несколько изданий).
- 673) O. Hahn. Physik. Zeitschr., 21, B. 1920, p. 591.
- 674) Огромное геохимическое значение радиоактивного распада калия и рубидия стало ясным после работ А. Гольмса и Р. Лаусона (см. A. Holmes a R. Lawson. Philosoph. Magazine. (7), 2, L. 1926, p. 1218 сл.).
- 675) См., напр., W. Kolhörster. Die Naturwissenschaften, 14. B. 1926, p. 291, 293.
- 676) Об этом Ф. Содди. Радий. Пер. Е. Толмачевой, Л. 1924.
- 677) F. Rutherford. The electric structure of matter. «The advancement of science. Adresses of Brit. Assoc. f. adv. of Sc». L. 1923, p. 20.
- 678) W. Nernst. Die Weltgebäude im Lichte d. neuer. Forsch. B. 1921.
- 679) Важны и интересны идеи J. Jeans'a (Nature. 118. 1926. App.) о коренном различии атомов звезд и туманностей от атомов земли. Он считает неизбежным признать в космосе существование тяжелых заурановых атомов. Атомы земли — «зола» от их разложения.
- 680) Новые наблюдения Кольгерстера. W. Kolhörster и G. v. Saus. Nature. 118. L. 1926. p. 518. Ср. J. Jeans. ib. 118. L. 1926. Append.
- 681) J. Perrin. Annales de physique. P. 1919. Его же Revue du Mois. 15. P. 1920, 162.
- 682) Пиккар для УХи Перрен и Голльег для Ra A и Ra B доказали их нечувствительность для излучений, исходящих из земли. См. J. Perrin. Notice sur les travaux scient. P. 1923, p. 77 сл.
- 683) A. Holmes. Geolog. Magazine (6), 2. L. 1915, p. 63.
- 684) J. Joly. Radioactivity a. geology. L., 1909, p. 44—45.
- 685) J. Joly. Phil. Magaz. (6), 18. L. 1909, 581.

686) (F. Clarke. Data of geochemistry. W. 1924, p. 310), Кларк выражает сомнения относительно данных, касающихся вулканических пород Везувия.

687) J. Joly. Report of Brith. Assoc. f. adv. of Sc., 1908, L. 1909, p. 680. R. Nasini a F. Ageno. Rendic. d. Acad. d. Lincei, 21, R., 1912, p. 691.

688) R. Strutt. Proc. of R. Soc., 80, L. 1908, p. 583. Cf. G. Meyer. Berichte d. naturf. Ges in Freiburg in Bresgau, 20, 1913, p. 2.

689) Указания не точны. Томмазина (M. T. Tommasina, C. R., 139. V. 1904, p. 730) указал на радиоактивность растений, но эти указания были оспорены. Повидимому, однако, Томмазина был прав. См. библиографию и сводку проблем у J. Stoklasa. Biochem. Zeitschrift. 109, B., 1920, p. 109 s. Возможно, что радиоактивность растений происходит от калия? См. P. Becquerel. C. R. 178. P. 1924, p. 794. D. Berthelot. ib. 486. Определения содержания урана и радия в золе растений, сделанные Е. С. Бурксером и его помощниками, дали положительные результаты. См. E. Burkser, J. Brun и K. Bronstein. Bioch. Zeitschr. 181. 1927. p. 145.

690. В. Вернадский. О необходимости изучения радиоактивных минераловъ Россіи. Изд. 3. П. 1914, стр. 33 (Тр. Рад. Эксп. Ак. Н. 1).

691) В. Вернадский. О рад.-хим. элем. въ земн. корѣ. П. 1915, отстр. 182. (Практич. Медиц. III.)

692) J. Joly. Philos. Magaz. (6), 17. L. 1909, p. 765.

693) G. Blanc. Rendic. d. Acad. d. Lincei. 18. R, 1909, 241.

694) A. Holmes, l. c., 1915.

695) J. Joly. Surface history of the Earth. L. 1925, p. 68.

696) H. Ellsworth. Amer. Journ. of Sc. (15). G. N. H. 1925, p. 129—130.

697) В. Вернадский, l. c. 1915. Ср. В. Вернадский. О рассеянии элементов. Отчет. Акад. Наук за 1926 г. I. Л. 1927.

698) J. Joly. Nature. 111. L. 1923, p. 604. J. Joly. Surface hist. of the Earth. L. 1925.

699) R. Strutt. Proceedings of R. Soc. A. 77--78. L. 1906.

700) O. Hahn. Was lehrt uns d. Radioaktivität. B. 1926.

701) A. Holmes. Geol. Mag. 63. L. 1926, p. 312.

702) Elie de Beaumont. Bull. Soc. Géol. de Fr. (2) 4. P. 1847, 1291.

703) Джоли (J. Joly. Report of the British Assoc. f. the adv. of Science L. 1909, p. 679), оставаясь в рамках обычных космогонических идей, объясняет внешнюю концентрацию тяжелых атомов урана большой их свободной энергией.

704) К сожалению, наши знания о распространении рубидия и калия в земных породах не связаны с глубинным их распространением. Для рубидия они вообще недостаточны. Рубидий должен, повидимому, сосредоточиваться в верхней области земной коры. В основных породах он не обнаружен. В среднем для калия мы имеем, в гранитных породах около 4%, в базальтах числа порядка 1.5%.

705) В. Вернадский. Биосфера. Л. 1926, стр. 13.

706) F. Clarke a. H. Washington. The composition of the Earth's crust. W. 1924, p. 16 (Prof. pap. U. S. G. S. №. 127).

707) К. Фаянс. Радиоактивность. Пер. Л. Поляка. Б. 1922, р. 94 с., 130.

708) К. Фаяне, I. с. 1922, 99.

709) Это отношение должно соответствовать действительности, если весь свинец происходит от разложения атомов урана и тория и если активный генетически связан с ураном.

710) Актиниевый свинец может не приниматься во внимание, так как его очень мало. Возможно, что подобно Pb_{Th} и Pb_{Ac} не является предельным продуктом распада актиния,—переходит в другое тело. Об этом A. Russell, Philos. Magazine. 46. L. 1923, p. 642.

711) См. F. Aston. Isotopes. 2 изд. L. 1925 (русское издание более старое). M. Curie. Les isotopes. P. 1924. Сборник «Изотопы». Л. 1924 (Новые идеи в химии. № 9). Ряд статей Гаркинса, см. прим. А. Ферман. Химич. элементы земли и космоса. Л. 1924.

712) Может-быть, это все химические процессы. Но даже при этих условиях совершенно непонятна идентичность атомных весов элементов метеоритов и земных.

713) В. Вернадский. Доклады Акад. Наук. Л. 1926, стр. 215.

714) J. Thomson. Proceed. of Royal Soc. A. 99. L. 1921, p. 87 s. К. Фаянс, I. с., 1922, р. 100, 130.

715) H. Ellsworth. Amer. Journ. of Sc. (15) 9. N. H. 1925, p. 138—139.

716) См. В. Вернадский. О необх. изучения рад. П. 1914, стр. 16 сл. Его же. О рад. элем. 1915, стр. 164 сл.

717) Среди этих минералов можно отметить, по крайней мере, два ряда с точки зрения физической и, вероятно, два другие с точки зрения химической. Мы отличаем тела правильной кристаллической системы: бреггерит, клеветит, α и β ураниобит, α и β торинит, с одной стороны, и аморфный минерал — настуран (напр., смоляная руда из Иохимсталя (Иохимов)—с другой. Кристаллическая система нивенита не определена. С химической точки зрения α — торинит, вероятно, соответствует (Th, U, Pb) O_2 , бреггерит, вероятно (U, Th, Pb) $O_2 \cdot UO_3$. Химическая формула других тел не известна, но возможно, что они часто содержат (в изоморфной смеси?) комплексное соединение окиси урана, редких земель и иттрия — $r(Se, Y)_2O_3 \cdot qUO_2$? Ср. В. Вернадский, I. с., 1915, стр. 168—169. В более новых работах все еще недостаточно проведено разделение разных минералов. Выводы об одном минерале переносят без всякого основания на все остальные. Образование комплексов UO_3 обычно рассматривается как вторичное явление, связанное с разрушением соединения. Вероятно, поглощение кислорода связано с радиоактивными явлениями (H. Ellsworth, I. с. 1925, p. 138 сл.). Но отсюда не следует, чтобы при этом не образовывались химические комплексы. Из новых работ над строением минералов этого ряда см. A. Schoep. Bulletin de la Soc. Chim. de Belg. 32. B. 1923, 276 сл. V. Goldschmidt u. Thomassen. Vidensk. Selsk. Skrifter. I. Math Nat. Chr. 1923, № 2. G. Kirsch. Mineral. u. Petrogr. Mittheil. 38. W. 1925, p. 223.

718) F. Hess. Econ. Geology. 9. La. 1914, p. 687. Гесс допускает существование сернистого урана.

719) Определение Джоли — J. Joly. *Philos. Magaz.* (6). 17. L. 1908. p. 765, приблизительно $p \times 10^{-8} \%$.

720) A. Lераре. *C. R.* 178. P. 1924, 933. — В источниках Пиренеев.

721) Об ортитах в породах, см., A. Tögnеbohм. *Geol. Fören i Stockh. Förländingår.* 6. S. 1882, 189. Iddings a. W. *Cross. Americ. Journ. of Sc.*, 30, N. H. 1885, 108. О монацитах — O. Derby. *Americ. Journ. of Sc.*, 37, N. H. 1889. 109. Его же. *Mineral. Magazine*, 11. L. 1897, 304, E. Hussak. *Miner. u. Petr. Mitheil.*, 12. W. 1892, 470.

722) Интересно отметить, что монациты и ортиты — не только минералы, содержащие самые большие количества тория, но также и редких земель. Преобладают всегда цериевые земли; — иттровые земли в них содержатся лишь в малых количествах. Однако, торий всегда приблизительно в том же количестве содержится в аналогичных минералах, богатых иттровыми землями (например, ксенотим до $3,0^\circ \text{Th O}_2$), но эти минералы, образующиеся при тех же условиях в кислых изверженных породах, встречаются относительно реже. Этот факт, однако, доказывает, что не существует специального соединения тория с цериевой группой элементов редких земель, но его концентрация в цериевых минералах должна рассматриваться как следствие относительного обилия цериевых редких земель по сравнению с их аналогами — иттровыми землями. Однако, возможно, что ксенотим не так редок, как предполагают. Об его обилии в породах: O. Derby. *Mineral. Magazine*, 11. L. 1897, p. 304.

723) Торо-силикаты обыкновенно очень бедны ураном. Однако, ураноториты содержат до 10°UO_8 .

724) Ортиты менее устойчивы, чем монациты. Это, может-быть, происходит от их меньшей твердости при их глубоком изменении (метаморфизации) в самих породах. Поэтому они реже собираются в россыпях; разрушаются еще раньше. Но ортиты в россыпях все же, несомненно, существуют. К сожалению, не обращено внимание на нахождение в россыпях породообразующих ортитов (алланитов). Они не похожи на обычные ортиты, образовавшиеся в пегматитовых жилах, и характер их устойчивости не известен. Нет ни одного анализа породообразующего алланита. Такой анализ сейчас очень важен.

725) Обыкновенно считают, что монацитовые россыпи образовались вследствие разрушения пегматитов, (например, W. Schaller, *Miner. Res. of Un. States* f. 1919, II, W. 1920, p. 8).

726) К. Матвеев. Борщовочное месторождение монацита. Л. 1926. (Мат. изуч. ест. произв. сил. № 58.)

727) Согласно электрометрическим измерениям. Cf. J. Joly. *Radioactivity and geology.* L. 1909, p. 47. S. Lloyd. *Americ. Journal of Science* (4), 39, N. H. 1915, 581. U. Mialock. *Annales d. Soc. cientif. Argentina*, 79. B.—A. 1915, 274—275.

728) Прямое определение урана не было сделано. Электрометрические данные обыкновенно дают максимальные числа, так как часть радия может быть там отделена от урана. По Ллойд у. (l. c. 1915) — $4,2 \times 10^{-7} \%$ U.

729) Обычно радиоактивность источников, зависящая от растворенного радия, очень невелика — Вескер (*Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Ch.* 131. 1923, 209 (в присутствии в воде SO_3)).

730) W. Ramsay. Chem. News. 105. L. 1912, p. 134. (Электр. опр.).

731) В. Вернадский. Извѣстія Петерб. Акад. Наукъ. П. 1914, p. 1374.

732) A. Lacroix. Minéralogie de Madagascar, I, 1921, p. 378.

733) W. Vernadsky. C. R., 176. P. 1923, p. 993.

734) Повидимому, на цело окись урана не переходит в UO_3 в природных процессах. Она всегда дает сложные комплексы $pUO_3 \cdot qUO_3$, которые так же как и UO_2 в термодинамических условиях ювенильных и фреатических минералов являются ангидридами. Чистая UO_3 в верхней фреатической и вадозной области будет основанием (может быть не в форме гипотетического уранила $(UO_2)''$).

735) Высказывается и допустимо представление об уране первичных уранинитов, как изотопе обычного урана, так н. ThU Кирша с 236.1 атомн. весом. См. Eitel. Die Naturwissenschaften. B. 1925. 363. Ср. G. Kirsch. Sitz. Wien. Akad. II. a. 131. W. 1922, p. 551 сл.

736) α —Thorianite Мадагаскара. Анализ Пизани, 93,02°, Th O_2 (A. Lacroix. Mineral. de Madagascar. I. P. 1921, p. 247).

737) В. Вернадский, I. с. 1915, p. 180—181.

738) Нет точных исследований урановой черны (Uranschwärze). О неоходимости ее изучения. W. Vernadsky. Hornický Vestník. Pr. 1923.

739) Работы А. Скупа. — A. Schoep, C. R. 1921—1925.

740) В. Вернадский, I, с. 1914, p. 41.

741) J. Vogl. Gangverhältnisse u. Mineralreichtum Joachimsthal, Tepl. 1859. F. Babanek. Geol. bergmänn. Karte von Joachimsthal. W. 1891, R. Jaffe. Zeit. f. prakt. Geol. B. 1912, p. 425. M. Kraus. Das staatliche Uranpecherzbergbaurevier bei Saint-Joachimsthal, W. 1916.

742) Эти находения — главный источник теперешнего радия — не изучены с геологической и генетической точки зрения. Оказывается, что, сверх жильного типа (H. Buttgenbach. Bulletin de la Soc. Géol. de Belg., 44. Liège. 1921), там существуют также карнотитовые находения в песчаниках (аналогичные существующим в Ута?). Cf. A. Schoep et E. Richet. Bull. de la Soc. belge de Géol. 32, Br. 1922, p. 150.

743) Самые распространенные первичные минералы ванадия, повидимому, пироксены и амфиболы, содержащие ванадиосиликаты в изоморфной подмеси, редко в больших количествах. Сомнительно, чтоб силикаты этой группы, наиболее богатые ванадием из всех известных, были бы ювенильными; это фреатические (контактные) минералы. Ювенильные чисто ванадиевые минералы не известны; изоморфные смеси вообще очень бедны ванадием. Большая масса атомов ванадия находится в состоянии рассеяния. Фреатические минералы гидротермального происхождения представлены ванадатами, часто сложными ванадатами, например, ванадиниты, редко минералами с трехвалентным ванадием — ванадиосиликатами (арденниты и другие). Находят контактовые пироксены, довольно богатые ванадием (лавровит и другие). Существует ассоциация соединений ванадия с асфальтами. Повидимому, фреатические области представляют концентрации ванадия, нигде в другом месте не существующие в земной коре. Вадозные ванадаты (всегда пятивалентный ванадий) многочисленны. Ванадий находится в живом веществе, и его история может быть представлена в первичном обратимом геохимическом цикле.

744) Cf. J. Baragwanath. *Engin. a. Mining Journal*, III. N.-Y. 1921, p. 778. Библиография находений соединений ванадия в связи с углестыми веществами у F. Clarke, l. c. 1924, p. 23, 727. О ванадии в нефтях см. E. Longobardie N. Camus. *Annales Soc. Cienc. Argent.* 72. B. A. 1911.

745) A. Phillips. *Americ. Journ. of Sc.*, 46. N., H. 1918, 473. Cf. F. Clarke, l. c. 1924, p. 713.

746) В. Вернадский, l. c. № 1. П. 1914, стр. 67. К. Ненадкевич. Производительные силы России. IV. П. 1919. См. выходящее сейчас научное описание этого месторождения ак. А. Е. Ферсмана и его сотрудников в Трудах по изуч. радия. III. Л. 1927 — гидротермальные процессы в карстовой области.

747) F. Hess. *Engin. a. Mining Journal-Press*, 114. N.-Y. 1922, p. 272 s.

748) Литература об этих находениях велика, но точное научное описание отсутствует. Более важные статьи: W. Hillebrand, a. F. Ransome. *Americ. Journ. of Sc.* (4), 10, N., H. 1900, p. 120. *Bull. of U. S. Geol. Surv.*, 262. W, 1905, 14. J. Boutwell. *Contrib. to econ. geol.* 1904. I. W. 1905. 203. H. Gale, ib. 1906. I. W. 1907. 115. F. Hess, ib., 1911. I. W. 1913, 142. 161. *Miner. Res. of the Un. St. f.* 1912. XV. 1913, p. 43 s. R. Moore a. K. Kithil. A prelim. report on Uran. Rad. a. Vanad. W. 1916 (Bureau of Mines). B. Butler, G. Longhlin. W. Heikes a. others. *The ore depos. of Utah*, W., 1920 (U. S. Geol. Surv.). Изложенные в тексте представления, основанные на изучении этой литературы (отчасти образцов), не отвечают в целом ни одному из предложенных представлений о генезисе этих залежей.

749) Cf. J. Rompreckj. *Branca Festschrift*, B. 1914, 444.

750) F. Hess. *Econ. geology*, 9. La, 1914, p. 686.

751) В. Вернадский, l. c. 1915, 182.

752) A. Lacroix. *Minéral. de la France*, 5. P. 1913, p. 8—9. *Minéralogie de Madagascar*. I. P. 1921.

753) F. Notenstein. *Econ. Geology*. B. L. 1918, p. 60.

754) На это указывают люди, много работавшие с радиоактивными явлениями. См. M. Curie. *L'isotopie et les éléments isotopes*. P. 1924, p. 154.

755) G. Kirsch. *Sitzungsber. Wien. Akad.* II. a. 131. W. 1924, p. 552 сл.

756) J. Danne. *C. R.*, 140. P. 1905, p. 241. N. Malloy a. W. Russ. *Journ. of Amer. Chem. Soc.* 29, E. 1907, p. 1702, E. Rutherford, l. c. 1913, 463. L. de Launay. *Gîtes min. et métal.* 2, P. 1913, p. 87. В. Вернадский, l. c. 1915, 153.

757) F. Soddy, l. c. 1919, p. 129.

758) В. Вернадский, l. c. 1915, p. 144. Его же. О рассеянии химич. элем. Л. 1927 (Отч. Акад. Наук).

759) В. Вернадский. О рассеянии химических элементов. Л. 1927 (Отчет Акад. Наук за 1926. I). Эту форму химической смеси — рассеяние элементов — я назвал (1910) — микрокосмической смесью. См. мои Очерки и речи. I. 1922, стр. 78.

760) См. O. Hahn. *Was lernt uns d. Radioactivität*. B. 1926, p. 11.

761) Возможно, изотопы висмута и таллия.

762) A. Piutti. Rendiconti d. Accad. d. Lincei, 22. R. 1913, p. 140. R. Strutt, Nature, 79. L. 1908, p. 207. Ср. В. Вернадский, I. P. 1914. p. 683.

763) C. Moureu. Journal de chimie physique, 11. P. 1913, p. 126 — 127. C. Moureu et Lerape. Ann. des Mines (11). P. 1914.

764) Mac Lennan. Bulletin of Mines Branch. Dep. of Mines. Ontario, № 31, T. 1919. Его же. Nature. 105. L. 1920, p. 748. S. Rogers. Helimbearing natur. gas. (Professional papers of U. S. Geol. Survey, 121.) W. 1921. T. Moore. Journal of Franklin Inst., Ph. 1921. Nature. L. 1923.

765) C. Moureu. Journ. de phys. chim. 11. P. 1913. C. Moureu et A. Lerape. Annales des Mines (11), 5. P. 1914.

766) Д. Джоли. (J. Joly. The Surface history of the Earth. D. 1925, p. 68) считает, что время, протекшее с архейской эры. 1.2×10^9 лет слишком мало, чтобы повлиять на явления радиоактивности. Он принимает для урана время его жизни 5×10^9 лет, а для тория 1.3×10^{10} лет. Но для гелия и при таких расчетах количество его должно быть чрезвычайно велико — порядка, здесь указанного. Порядок процессов радиоактивности не изменится, но количество накопленного гелия будет все же очень велико.

767) См. О. Нанн и М. Rothenbach. Physikal. Zeitschr. 20. B. 1919, p. 194. О современном положении вопроса см. литературные указания А. Holmes a. R. Lawson. Ph. Mag. (7), 2. L., 1926, p. 1123.

768) W. Nernst. Das Weltgebände im Lichte d. neuer. Forschung. B. 1921, p. 37.

769) J. Perrin, Notice sur les travaux scient. Toul. 1923, p. 92.

770) В. Вернадский. Опыт описат. минер. I. П. 1908—1913, стр. 593. История минералов. I. 2. Л. 1927. 23 сл.

771) Есть геологические (вернее, геогенические) теории, допускающие увеличение массы земли с течением времени. Согласно этим теориям, не существует динамического равновесия, и происходит увеличение количества земной материи, благодаря ее приносу из небесных пространств. Однако, это может быть заметно лишь в промежутки, превосходящие наше геологическое время. См., например, C. Schuchert в сборнике The evolution of the Earth a. its inhabitants? N., H., 1918, p. 51. (Изд. Yale Унив.)

772) J. Joly. Nature, 68. L. 1903, p. 526.

773) J. Joly. Radioactivity and. geology, L. 1909.

774) R. Strutt. Proceed. of R. Soc. A., 77. L. 1906, 479, 78. 1906, 150.

775) A. Holmes. Geolog. Magazine (6). 2. L. 1915. Его же. Age of the Earth. L. 1915. Ср. А. Герасимов. Известия Геолог. Ком. 40. П. 1922, стр. 43 сл. А. П. Герасимов дает обзор идей других ученых — Гимштедта, Либенова — после Джоли (1903, прим. 772), но от него независимо подошедших к той же идее (1904). А. П. Герасимов дает ясное понятие о состоянии вопроса к 1920-м годам.

776) См. Т. Chamberlin. Journ. of Geology. 19. 1911, 673. Ср. R. Wells. Bibliography of the liter. dealings with the relation of radioact. to geol. problems. W. 1923. А. Kovařik a. L. Mc Keehan. Bulletin of Nation. Res. Council. 10, N. 51. W. 1924. Ср. еще А. Соколов. Успехи

физики. М. 1921. О. Hahn. Was lernt uns d. Radioactivität. В. 1926. Возражения J. Jeffreys. Phil. Mag. (7). 1. 1926, 923.

777) J. Joly. Radioactivity a. the surface hist. of the Earth. O. 1924. Его же. The surface history of the Eearth. O. 1925. Его же. Philos. Magaz. (7). 1. L. 1926, p. 932.

778) A. Holmes. Geol. Magazine. 62. 1925, 507 сл. Его же. Geol. Magazine. July. 1926, 306. Его же. Ph. Mag. (7). i. 1926, 1074. A. Holmes a. R. Lawson. ib. 2. 1926, 1218 сл.

779) A. Holmes a. R. Lawson. Nature 117. L. 1926, p. 620 A. Holmes. a. R. Lawson, l. c. 1926, 1218 сл.

780) Гольмс и Лоусон приняли для своих исчислений числа количества рубидия, указанные в сводке Вашингтона и Кларка (F. Clarke a. H. Washington. Chemic. composition of the Earth's crust. W. 1924). Клерк и Вашингтон дают для рубидия в горных породах $n \times 10^{-4}\%$. Это число является преуменьшенным. В нем не принято во внимание ни нахождение рубидия в морской воде, ни нахождение его как составной части алюмосиликатов калия. Принимая оба эти условия и считая, что в калиевых породообразующих минералах находятся его количества, близкие к нахождению его в калиевых алюмосиликатах пегматитовых жил, я получил число, близкое к $5 \times 10^{-3}\%$, вероятно, еще большее—порядка $n \times 10^{-2}\%$. Рубидий спектроскопически обнаруживается во всех калиевых полевых шпатах. Сейчас идет проверка нахождения Rb в горных породах и в морской воде. См. В. Вернадский. История минералов. I. Л. 1924—1926, стр. 43 сл., IV сл.

781) A. Holmes a. R. Lawson. Ph. Magazine (7). 2. L. 1926, p. 1218 сл.

782) Если принять количество рубидия в земной коре равным $5 \times 10^{-2}\%$ и число Гольмса и Лоусона для энергии рубидия, получаемое в год вследствие радиоактивности (2.38×10^{-4} кал. на грамм Rb), — мы получим, что грамм средней изверженной породы в год этим путем выделяет 2.38×10^{-8} калорий. Общая энергия земной коры, получаемая путем радиоактивности, увеличится на 0,21%.

783) Для калия мы соответственно имеем: граниты 1.5×10^{19} атомов в одном куб. сантим., в базальтах — 4.1×10^{18} атомов в 1^{cc}. Калий не рассеян.

784) См. таблицу J. Joly, l. c. 1925, p. 133.

РУССКИЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ.

- А**арнио В. 78
 Абельдгаард П. 132
 Абих Г. 153, 168, 321
 Агассиц Л. 195
 Аллен Е. 157, 191
 Андерсон Т. 314
 Андрусов Н. 297
 Анучин Д. 283
 Араго Ф. 281
 Армашевский П. Я. 114
 Аррениус 44, 210 — 212, 293, 327
 Архангельский А. 315
 Астрик 74, 300
 Ауэрбах Ф. 228
 Ашан О. 78
- Б**альи 86
 Бауэр М. 139
 Бейеринк 73, 75
 Бейтин 301
 Беккер 295
 Беккерель А. 87
 Берд 82
 Бернар К. 41
 Бертело Д. 330
 Бертело М. 153, 318
 Бертран Г. 74, 76, 169, 173, 300
 Берцелиус И. Б. 13, 284
 Бессмертная М. 140
 Беш де-ля 23
 Био 167, 320
 Бишоф К. 13, 15, 16, 19, 20, 30, 219, 284 — 286, 301, 311
- Блан Г. 243
 Богачев И. 302
 Богданович К. 298
 Бодримон А. Е. 306
 Бойль Р. 8
 Бойсен-Иенсен 191, 192
 Бон Г.-де 239, 240
 Бонкрафт В. 306
 Боплан 322
 Борисов П. 297, 309, 313
 Боуэн Н. 121, 308
 Бошкович Р. И. 6, 281, 282
 Брайлей 74
 Браконно 317
 Брандт А. фон 195, 325
 Браун К. 36
 Брэггер 153, 317
 Брейтгаупт И. 13, 15, 16, 20, 106, 107
 Брен А.-де 157, 164, 320
 Бриан А. 173
 Броден 160, 318
 Броньяр А.-де 204, 326
 Буги В. 173
 Буканан 73
 Бунге Г. 325
 Бунзен Р. 17, 53, 285
 Бурксер Е. С. 332
 Бурнон де 12
 Буссенго Ж. 12, 13, 15, 30, 156, 179, 326
 Буткевич 301
 Бух Л. фон 314
 Бэр К. М. фон 183, 188, 195, 213
- Бюффон Леклерк де 9, 86, 194, 195, 282, 283, 286, 293, 330
- В**аллисньери А. 225
 Вальден П. И. 167, 320
 Ван-Тигем П. 51
 Ван-Хайз К. 21, 114, 115, 141
 Ватсон 82
 Вашингтон Г. 23, 65, 90, 101, 124, 144, 145, 289, 296, 298, 306, 338
 Вейберг С. А. 122, 130, 311
 Веймарн П. Е. фон 106, 107, 307
 Вейнберг Б. 331
 Венель 293
 Вернадский В. 281, 282, 284, 286—292, 294, 295, 298, 300, 301, 303—314, 316 — 325, 328 — 333, 335—338
 Вернер 304
 Вестер Д. А. 74, 300
 Виснер 325
 Вик д'Азир 42
 Виик 310
 Виноградский С. Н. 75
 Вильштеттер Р. 312
 Вокелен 74, 132
 Волластон 18
 Вольф Каспар 43
 Воронков Н. 322
 Вурцер 74
 Вульфлинг 313

- Габер** 307
Гальбфасс М. 45
Гальдан Д. 182
Ган О. 235
Гаркинс В. 25, 290, 333
Гаррисон 134
Гартман Э. фон 195
Гедсон В. 187
Гейм 88
Гельмгольц Г. 226
Гельс С. 204
Гендерсон Л. 104, 105, 204, 207, 306
Генкель 295
Геннууд 16
Генсен В. 190, 314, 324
Герасимов А. П. 337
Гесс 241, 265, 333
Гете В. 14
Ги 330
Гиббе В. 36, 56, 94
Гильденбрандт В. 297
Гимштедт 337
Гинзберг А. 309, 310
Глинка К. 315, 316
Говард В. 12
Голенкин М. 292
Голланд 140
Голльвег 331
Гольберг И. 281
Гольдшмидт В. М. 281
Гольмс А. 242, 243, 246, 276—279, 302, 303, 331, 338
Горуп Безанец 74
Горшкова Т. 297
Готье А. 39, 40, 157, 158, 164, 292, 312
Гранд Эри 173
Грейг 308
Григ В. 121
Грифит 74
Грушевский М. 330
Грэгам 106, 107, 307
Гумбольдт А. фон 10—12, 183, 283, 299, 317
Гуммель К. 136
Гуссе Ф. 42, 293
- Гюггинс** В. 7
Гюйгенс Х. 7, 17, 282
Гюттнер К. 157, 158
- Д'Аламбер** 281
Дали 329
Дальмер 313
Дальтон 18
Дарвин Е. 325
Дарвин Ч. 183
Д'Арсэ Ж. 53
Дворак В. 281
Дей А. 157
Де-Лонэ 21
Дельёскамп Р. 155
Дельтер 310
Денингтон 74
Деттон 18
Джаггар Т. 157, 158, 305
Джаксон Д. 73
Джинс Д. 285
Джולי Д. 226, 242, 243, 246, 275, 276, 278, 279, 303, 332, 334, 337
Джонстон 327
Диэнер 108
Добрэ А. 24
Додар Д. 282
Докучаев В. В. 286
Дрю 214
Душечкин Я. 316
Дэви Гемерри 10, 12, 16, 17, 53, 132, 283
Дэли Р. 309
Дэль Н. 298
Дэн 88
Дюгем 36, 278
Дюкло 189
Дюма Ж. Б. 10, 12, 15, 30, 179, 284
Дюрошэ 16
- Ермолаев** Н. 315
- Иоден** 74, 300
Журавский А. 324
- Залесский** М. Д. 173, 322
Занинович А. 281
Звягинцев О. 289
Зелинский Н. Д. 319
Земятченский П. 308—311, 313
Зильберлинц 288
Зольмс-Горстмар 74
Зюсс Е. 52, 55, 62, 88, 103, 104, 184, 306
- Иернэ** И. 53
Ингенхоуз 203, 325
Иностранцев А. 297
Ирвин Р. 77, 140
Искюль В. 310
- Иавендиш** 203
Калицкий К. 321
Кант Эм. 102
Карно С. 226—228, 232
Карон 310
Карпинский А. П. 103
Карандори Г. 299
Карутерс Г. 49, 50, 294
Каспари 137, 315
Кернер 162
Кирхгофф Г. Р. 17, 53
Кириш 335
Кишпатич 137
Кларк Ф. 19, 20, 23, 24, 27, 65, 77, 80, 90, 91, 101, 114, 115, 124, 144, 145, 209, 218, 221, 286, 289, 296, 315, 317, 327, 328, 333, 338
Кларэ де Флерие 55
Клатт 53, 82, 294
Клаузиус Р. 226—228
Кноп А. 324
Коваржик 235
Кольгерстер 331
Комонен 310
Кон Ф. 186
Константен М. 51
Корну Ф. 106, 307
Костычев П. 316
Крог А. 93, 209

- Кругловский М. 297
 Крукс В. 52, 269
 Крюммель 45
 Кузнецов Н. Я. 50, 294
 Кулон 43, 293
 Купен 140
 Курнаков Н. С. 307, 313
 Куртуа В. 39
 Кювье Г. 42, 47, 51
 Кюри Петр 166, 260, 320
Л
 Лавуазье 8, 9, 10, 12, 16, 203, 290, 293
 Лагранж 281
 Лакруа А. 138, 196, 309, 316
 Лантерберри В. 237
 Лаплас 43, 86, 102
 Ларсен 99
 Ласпейрес 157, 319
 Лебедев А. 326
 Ле Бон Г. 331
 Левенхук 182
 Леклерк А. 74
 Лемберг 309
 Ленард 53, 82, 294
 Лепани 271, 272, 305
 Лескере А. 322
 Ле-Шателье Ш. 36, 107, 279, 310, 325
 Лещенко Н. К. 291
 Либеков 337
 Либих Ю. 10, 12, 13, 15, 30, 210, 284
 Линдгрэн В. 21
 Линдеман К. 295
 Линней К. 185, 220
 Ллойд 334
 Логан 315
 Лоусон Р. 276, 277, 331, 338
 Лоуэлль 112
 Лукашевич О. 311
 Лучицкий В. И. 71, 298
 Льюьер 306
 Люндегорд 206
М
 Мавери 162
 Мазе 132
 Майер Р. 223, 226
 Майцен 281
 Макбридж Д. 204
 Макенн 318
 Мариньяк 94
 Марковников В. В. 162
 Маркуссон 165
 Марсден Е. 237
 Массон В. 78
 Матвеев К. 334
 Мейер В. 165
 Мейтнер Л. 235
 Меллор В. 121, 308, 310
 Менделеев Д. И. 10, 16, 21, 28, 29, 52, 153, 285, 304, 317
 Меррей Д. 73, 77, 136, 140, 328
 Минервини 328
 Мозели 21, 28
 Молиц 73
 Мон 294
 Моменэ 74
 Мор 30
 Морозевич С. 96, 124, 125, 312
 Муассан 153
 Мур Б. 318
 Мурё Ф. 29, 271, 272, 305
 Мэран 86
Н
 Набоких А. 298
 Натерер 328
 Ненадкевич К. 336
 Нернст 240, 241, 274
 Никогосян Х. 309, 310
 Николаевский Т. 313
 Норденшильд А. 297
 Ньюбери С. 168, 173
 Ньютон 7
О
 Огава Т. 85
 Оглоблин А. 140
 Оддо Г. 25
 Окен 195
 Ольдгейм 85
 Орсель 313
 Орток 173
 Отрыганьев А. 322
П
 Пайн Ц. 90
 Парацельс 11
 Паррот Г. 204, 326
 Пастер Л. 146, 166, 225
 Паузе В. 282
 Пекарский П. 282
 Перрен 241, 274, 331
 Перфильев Б. 301
 Петерсен 191, 324, 328
 Пизани 296, 335
 Пиккар 331
 Пирсон 45
 Пишар 74
 Подолинский С. 226, 330
 Позняк Е. 110
 Поллачи 294
 Потонье 169
 Пошепный Ф. 62
 Православьев А. 327
 Прагг М. 18, 51
 Прейер В. 195
 Прингль 30
 Пристлей 30, 46, 203, 293
 Пюттер 328
Р
 Распайль 204
 Рауль М. 296
 Рачков Ф. 281
 Реди Ф. 224, 225, 329
 Резерфорд Е. 237, 238, 240
 Рейль 10, 11, 283
 Ренар 136
 Рено Б. 169, 173
 Рессель 234
 Роде Е. 307
 Роже 318
 Рожкова Е. В. 288
 Розенблат 300
 Роме-де-Лиль 303
 Росбо 309
 Руэлль Г. 8 — 10, 16, 53, 282
С
 Саже 295
 Самойлов Я. В. 20, 73, 288, 297—299, 301, 309, 314
 Сарзо 74

Сахелашвили С. 301
 Сельми Ф. 106, 307
 Сенак 293
 Сенебье 203, 325
 Сент-Клер-Девиль Ш. 64,
 117, 120, 156, 296, 310
 Северин С. 316
 Скотт 121
 Скребицкий А. 283
 Скуп А. 261, 335
 Смит А. 218
 Смольяников Н. 311
 Снядецкий А. 44, 195, 213,
 214, 222, 293, 325
 Содди Ф. 234, 268, 331
 Соколов А. 337
 Соколов Н. 73, 298, 299
 Соссюр Т.-де 46, 74, 132,
 204, 205
 Стай И. 282
 Стевенсон 294
 Стефани де 323
 Стеффенс 283
 Стойкович И. 282
 Стретт Р. (Ралей) 242,
 246, 275, 276
 Сюлливан Е. 297

Тальбот 53
 Тейсеран-де-Бор Л. 83
 Терентьева К. Ф. 288
 Термье М. 99, 305
 Тернер 85
 Титов А. 73, 288, 301
 Титов В. 297, 299
 Ткаченко М. 322
 Томмазина 332
 Томсон В. (Кельвин) 226,
 230

Томсон Д. 290
 Тормар И. 281
 Тучан Ф. 137, 281
 Тьебо 313

Уильямсон 327
 Уирри 99
 Уошингтон Г. 20
 Усов М. 327, 328
 Успенский Е. 74, 300

Фарадэй 294, 303
 Фаянс К. 234, 333
 Федоров Е. С. 308
 Фейль 310
 Фелленберг Т. фон 40,
 291, 292
 Фермор Л. 296
 Ферсман А. Е. 20, 129,
 130, 286, 288, 289, 290,
 303, 309, 311, 313, 333,
 336
 Филлипс А. 74
 Филлипс Д. 20, 23
 Фильоль 173
 Фишер Ф. 215
 Флорентин Д. 321
 Флуранс 195
 Фогель Р. 33
 Форхгаммер 53, 74, 123
 Фохт И. 24, 69, 80, 286
 Фреми 310
 Фукс Н. 106, 107
 Фукэ Ф. 156
 Фурнэ 16, 330
 Фурье 87, 303

Хенигшмидт 248
 Хент 328

Хердман 328
 Херрер 314
 Хладни Э. Ф. 12, 283
 Хлопин В. Г. 263

Чапек 325
 Чемберлен Т. 157
 Чермак Г. 124
 Черных В. 313
 Четвериков С. 323
 Чирвинский В. Н. 114,
 115, 308, 309, 317
 Читаев Л. 310
 Чугаев Л. 320

Шарп Д. 50, 294
 Шатен А. 292
 Шееле К. 74
 Шеллинг 11
 Шеферд Е. 157
 Шефлер 73
 Шлезинг Т. 207, 329
 Шорлер Б. 301
 Шпренгель К. 12, 13, 284
 Шрауф А. 312
 Шредер 215
 Штейгер 82
 Штельцнер 21

Щербаков Д. И. 288

Эбельмен 308
 Эли-де-Бомон 13, 15, 16,
 20, 24, 247
 Энглер 165, 328
 Эренберг К. 183, 186, 220

Юнг 78
Якоб Я. 304

ЛАТИНСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ.

- | | | |
|-------------------------------|--|--------------------------------|
| Aarnio B. 297, 301 | Bence Jones, см. Jones B. | Bragg G. 304 |
| Abich H. 317, 321 | Benson W. 313 | Bragg W. 304 |
| Adams L. 302, 303 | Bergeat 288 | Brandt J. 293 |
| Agafonoff W. 310 | Bergson H. 330 | Brauns A. 309 |
| Agassiz A. 297 | Bernard C. 292 | Brauns R. 309 |
| Ageno F. 332 | Berndt 304 | Breithaupt A. 284, 285,
307 |
| Allen E. 294, 305, 319, 324 | Bernhardt W. 283 | Briart A. 322 |
| Allen F. 319 | Berthelot D. 332 | Brodie A. 319 |
| Allen G. 319 | Berthelot M. 317 | Brogger C. 317 |
| Andrée K. 327 | Bertrand C. 321 | Brogie L. de 291 |
| Arago F. 303 | Bertrand G. 99, 300—302 | Brongiart A. 326 |
| Arrhenius S. 293, 305, 327 | Bertrand J. 284, 285 | Bronstein K. 332 |
| Aschan O. 301 | Berzelius L. 284 | Brown T. 327 |
| Assmann R. 302 | Beveridge W. 327 | Bruhns H. 283 |
| Aston F. 333 | Beyer M. 320 | Brun A. 319, 320 |
| Astruc 300 | Beyschlag F. 296, 298 | Brun J. 332 |
| Auerbach B. 330 | Beythien A. 301 | Buch K. von 326 |
| | Biot 320 | Buchanan J. 297, 299 |
| Babaneck F. 335 | Bischoff C. 284, 290, 301,
311, 328 | Buddington A. 309 |
| Bachmann E. 314 | Blake J. 291 | Buffon, comte de 325 |
| Baragwanath J. 336 | Blanc G. 332 | Bunsen R. 285, 295 |
| Barrai J. 303 | Bloch E. 293 | Burgess J. 291 |
| Barrois C. 321 | Bohn G. 293 | Burkser E. 332 |
| Bassalik K. 314, 315 | Boscovich R. 281, 282 | Buttgenbach H. 335 |
| Baudrimont A. E. 306 | Bourcet 291 | Butler B. 336 |
| Bauer M. 316 | Bournon, comte de 283 | Byk A. 320 |
| Baur E. 309 | Boussingault I. 283, 284,
290, 318, 323—326 | Camberousse C. de 284 |
| Beard R. 302 | Boutwell J. 336 | Campbelle, см. Morrow C. |
| Beche H. de la 289 | Bowen N. 310 | Camus N. 336 |
| Becke F. 307 | Bowie W. 302 | Cannizzaro S. 284 |
| Becquerel P. 332 | Bowman N. 311 | Cap P. 282 |
| Behr C. von 323 — 325,
327 | Boyesen-Jensen P. 324 | Carnot A. 316 |
| Beijerinck M. 299, 301 | Braconno H. 317 | Caron 310 |
| Bemmeln, см. Van Bem-
meln | Bradley H. 300 | Carradori G. 299 |

- Carruthers G. 294
 Caspary W. 315
 Cayeux L. 298, 305, 314, 315
 Cermelj L. 281, 282
 Chamberlin T. 319, 326, 327, 337
 Chatin A. 291, 292
 Chevallier A. 299
 Child J. 282
 Chladni E. F. 283
 Cholodny N. 299
 Chun C. 297
 Claret de Fleurieu C. 245
 Clarke F. 286, 289, 296, 297, 301—303, 305, 306, 308, 311—315, 317, 318, 320, 326—329, 331, 332, 336, 338
 Cobb J. 311
 Cohn F. 323
 Colleta L. 315
 Cornu F. 307
 Cossa 294
 Coster D. 290
 Cottureau E. 299
 Coulomb C. 293
 Crookes W. 294, 324
 Cross W. 334
 Curie M. 333, 336
 Curie P. 320
 Cuvier G. 293
 Czapek F. 301, 312, 319, 320, 325, 326

D
 Dale N. 298
 Daly R. 309, 317, 329
 Danne J. 336
 D'Arcet 294, 295
 Darwin C. 323
 Daubr e A. 285, 289
 D uvillier A. 291
 Davy H. 283, 295, 313
 Day A. 294, 319
 De Chaves 315
 D eh erain P. 284
 Delambre 293
 De Launay L. 288, 298, 302, 311, 336
 Delesse A. 317
 Delkeskamp R. 296, 318
 Demoussy E. 329
 Derby O. 334
 Diderot D. 282
 Di nert F. 307
 Dietze A. 291
 Dieulafait L. 328
 Dodart D. 212
 D olter C. 310, 312, 313
 Donnan T. 306
 Drakeley T. 321
 Drew G. 327
 Du Bois Reynard E. 325
 Duclaux J. 306, 307, 324
 Dulugea S. 298
 Dumas J. B. 283 — 285, 290, 323, 325, 326
 Dunnington F. 300
 Durand J. 289, 290
 Dvořak V. 281, 282

E
 Ebelmen H. 308
 Ehrenberg C. 323, 329
 Einhof 299
 Eitel 335
 Elie de Beaumont 284, 285, 289, 332
 Ellsworth H. 332, 333
 Engler C. 318—320, 328
 Ephraim F. 297
 Ereny 325

F
 Faraday 303
 Fagol H. 322
 Feil 310
 Fellenberg T. 291, 292
 Fermor L. 296, 298, 299
 Fersman A. 313
 Filhol H. 322
 Fischer F. 321, 327
 Florentin D. 321
 Flourens P. 325
 Forchhammer J. 295, 299, 311
 Forti 323
 Fouqu e C. 318
 Fournet J. 330
 Francis W. 302
 Fremy 310
 Freundler M. 292
 Fuchs N. 307

G
 Gale H. 336
 Gautier A. 291, 292, 312, 316, 318, 319
 Geitel H. 294
 Gibbs W. 295
 Glixelli S. 307, 312
 Goldschmidt V. 289, 333
 Gorup Besanez 299
 Graham T. 306, 307
 Grand 'Eury C. 322
 Greig J. 310
 Griffith P. 298, 300
 Guareschi J. 307
 G mbel C. 284, 315
 G mbel W. 285, 297
 Guye C. 330

H
 Haber F. 307
 Harder E. 299
 Hahn O. 331, 332, 336 — 338
 Halbfass W. 294, 305
 Haidane I. 323
 Hales S. 325
 Hallimond A. 315
 Harkins W. 290
 Harnack T. 292
 Harrison J. 316
 Haussonville, comte de 284
 Hayes A. 291
 Heikes W. 336
 Helmholtz H. 330
 Hempel H. 301
 Henderson L. 245, 306, 326
 Henri t H. 318
 Hensen V. 314, 324
 Herdmann V. 328
 Herrera A. 313, 314
 Hess F. 333, 336
 Hevesy G. 290
 Hidden W. 296

- Hillebrand W. 336
 Hjärne U. 295
 Hjelt E. 284
 Hjort I. 297, 314
 Hobbs W. 305
 Hoefer F. 282, 318, 319
 Hoffmann A. 284
 Holland T. 316
 Holmes A. 302, 303, 306,
 308, 331, 332, 337, 338
 Houldsworth H. 311
 Houssay F. 293
 Howard E. 283
 Hudson W. 323
 Hugenius C. 282
 Humboldt A. von 283, 299,
 313, 317, 323, 324
 Hundeshagen F. 292
 Hunt R. 283, 327, 329
 Hunt T. S. 308
 Hussak E. 334
 Hüttner K. 319
 Hviid H. 318
 Hyggins W. 282

 Irvine R. 297, 301, 314,
 316

 Jackson D. 299, 311
 Jacob J. 304
 Jadin F. 300
 Jaeger 320
 Jaffe R. 335
 Jaggard T. 294, 305, 319
 Jansen 284
 Janvilliers M. 300
 Jeans J. 285, 303, 331
 Jeffreys H. 302, 306, 338
 Joly J. 302, 306, 330, 332,
 334, 337, 338
 Jensen H. 317
 Jones B. 303
 Jones D. 321

 Kaiser C. 307
 Kant I. 305
 Katzer F. 298
 Keehan L. M. 337

 Kelley W. 298
 Kendall P. 322
 Kirchhoff G. 285, 295
 Kirsch G. 333, 335, 336
 Kišpatić M. 316
 Kithil K. 336
 Klason P. 327
 Klatt V. 294, 296, 302
 Knopff A. 291
 Knopp A. 324
 Kobell F. V. 285
 Kohlhörster W. 331
 Kohat J. 284
 Kopaczewski W. 307
 Kovařík A. 331, 337
 Kraft L. 301
 Kraus M. 335
 Krogh A. 293, 326, 327
 Krusch P. 296, 298
 Kvička 316
 Kyllin H. 292

 Laboulay 285
 Lacrois A. 296, 297, 309,
 316, 317, 335, 336
 Lambling E. 320
 Lantöburrý W. 331
 Larsen T. 305
 Laspeyres 318
 Lavoisier 212
 Lawson R. 331, 337, 338
 Le Blanc F. 284
 Le Bon G. 331
 Le Chatelier H. 307, 310,
 312, 313, 319, 325, 327,
 328
 Leclerc D. 299
 Leduc S. 306
 Lee G. 315
 Lemberg J. 309
 Lemon H. 289
 Lenard P. 294, 296, 302
 Lencer V. 307
 Lepape A. 334, 337
 Lesqueureux L. 232
 Lessing R. 312
 Liebig J. 284, 290, 327
 Lieske R. 299

 Lindemann K. L. 245
 Lindgren V. 288, 302
 Linné 323
 Lloyd S. 334
 Leeuwenhoeck A. van 323
 Longhlin G. 336
 Longobardi E. 336
 Lowell P. 305
 Lull B. 329
 Lumière 306
 Lund G. 292
 Lundegårdh H. 326

 Mabery C. 319, 320
 Maccalum A. 325
 Mac Lennan 337
 Mackbridge D. 325
 Mairdron M. 284
 Mallog N. 336
 Manley I. 290
 Mansfeld R. 315
 Maquenne L. 329
 Marcusson J. 320
 Mardson L. 331
 Mary A. 314
 Masé P. 313
 Mason W. 302
 Maignon C. 292
 Matisse G. 293
 Maumené E. 300
 Mayer R. 329
 Meitner L. 331
 Medigrécoanu F. 300
 Mellor J. 310, 311
 Mellor E. 315
 Melsens 284
 Mendelejeff D. 317
 Merck H. 310
 Merwin A. 307
 Merz J. 293
 Meyer G. 332
 Mialock U. 334
 Minervini P. 328
 Miolati A. 301
 Miser H. 299
 Moesta A. 291
 Mohr C. 290
 Moissan H. 317

- Molisch H. 299
 Moore B. 316, 318, 329, 330
 Moore R. 336, 337
 Moreau J. 292
 Morey G. 309, 311
 Morozewicz S. 304, 312
 Morrow Campbell 316
 Moureu C. 305, 337
 Moureu F. 290
 Mulert O. 307
 Müll O. 300
 Murray J. 297—299, 301
 309, 314—316, 328

N
 Nasini R. 332
 Natterer C. 328
 Naumann E. 297
 Nedelkovitch D. 281
 Nernst W. 331, 337
 Neuburger M. 283
 Neumann F. 310
 Newberry J. S. 321, 322
 Niggli P. 309, 311, 315,
 316
 Nordenskiöld N. 310
 Norton J. 310
 Notenstein F. 336

O
 Oddo G. 290
 Oldham R. 302
 Orcel J. 313
 Orton L. 322

P
 Palmer C. 320
 Pardie J. 298
 Parrot G. 326
 Pascal P. 307, 308
 Pasteur L. 320
 Payne C. 303
 Peacock H. 293
 Perrin J. 331, 337
 Perry W. 330
 Peter M. 321
 Petersen C. 300, 324, 328
 Philippi E. 297, 299, 301,
 315
 Phillips A. 300, 336
 Phillips J. 289
 Phillips W. 289
 Picard E. 331
 Pichard P. 300
 Pictet A. 321
 Piutti A. 337
 Podolinsky S. 330
 Pollaci E. 294
 Pompeckj J. 336
 Pošepny F. 245
 Posnjak E. 307
 Potonié H. 321
 Potonié R. 321
 Prantl W. 301
 Pratt H. 294
 Preyer W. 325
 Priestley I. 290, 293
 Pringle J. 290

Q
 Quinton R. 325

R
 Raaz F. 310
 Ramsay W. 335
 Ranc A. 291
 Ransome F. 336
 Raspail F. 326
 Raymond 329
 Redi F. 329
 Reil I. C. 283
 Renard A. 297, 298, 314, 315
 Renard C. 309, 314
 Renault B. 321, 322
 Richet E. 335
 Richter O. 313, 317
 Roche A. 321, 322
 Rogers S. 337
 Rolland 284
 Romé de l'Isle 303
 Rosbaud P. 309
 Rosenblatt 300
 Rosenheim O. 317
 Rothenbach M. 337
 Rouelle G. F. 282, 294, 295
 Rougier L. 320
 Roule L. 282
 Russ W. 336
 Russell A. 333
 Russell E. 293
 Rutherford E. 331, 336
 Sachs J. 326
 Sage M. 294
 Sagot P. 324
 Sainte-Claire-Deville Ch.
 285, 296, 309, 310, 318
 Salms-Horstmar, Fürst 299
 Sarzeau 299
 Saussure Th. de 294, 299,
 313, 325
 Schaller W. 322, 334
 Scheele C. 299
 Schepherd E. 319
 Schloesing J. 284
 Schloesing T. 318, 326
 Schmidt E. 327
 Schoep A. 333, 335
 Schorler 299
 Schrader H. 321, 327
 Schrauf A. 312
 Schuchert A. 295, 302, 327,
 330, 337
 Schulten A. de 309
 Schwarz R. 310
 Scott 310
 Senebier 325
 Silvestri O. 320
 Skey W. 292
 Smith A. 328
 Sniadecki J. 293, 325, 327
 Soddy F. 336
 Söderbaum 284
 Sprengel K. 284
 Stay I. 282
 Stefani de 323
 Steffens H. 283
 Steinmann G. 327
 Sterry Hunt, cm. Hunt T. S.
 Stevenson J. 294
 Stock A. 303, 304, 307, 312
 Stoklasa J. 316, 320, 332
 Stoll 312
 Stölzner 288
 Stoney G. 294
 Stopes M. 312, 321
 Streng A. 296
 Strutt R. 332, 337
 Süß E. 295, 305, 306
 Swoboda H. 301

- Talbot H. 295
 Tangl F. 323
 Tausz J. 321
 Teisseranc de Bort L. 302
 Thiébaud 313
 Thieghem P. van 284
 Thiessen R. 322
 Thomassen 333
 Thomson J. 290, 323, 333
 Thomson T. 295
 Thomson W. 330
 Teall J. 316
 Termier P. 305
 Tilden W. 284
 Tommasina M. T. 332
 Toraude L. 292
 Törnebohm A. 334
 Troost 284
 Tschermak G. 312
 Tucan F. 316

 Urasow G. 310
 Usiglio J. 328

 Vallisneri A. 329
 Van Bemmeln J. 302

 Van Hisl C. 288, 302, 308, 314, 317, 328
 Van Thieghem 294
 Varičák V. 281
 Vauquelin 313
 Venel G. 293
 Vernadsky W. 308—310, 316, 324, 330, 335
 Vicq d'Azyr 292
 Vladesco R. 300
 Vogel R. 291
 Vogt J. 289, 296—298, 302, 335
 Voitesti J. 323

 Walden P. 320
 Walther J. 299
 Wandelbalcque F. 307
 Wanklym J. 292
 Watson T. 302
 Waschington H. 286, 296—298, 302, 303, 305, 306, 312, 317, 332, 338
 Wells R. 337
 Werner A. 304, 316
 Wesenberg C. 326
 Wester D. 300
 Wetherell E. 327

 Wheeler R. 321
 Wherry E. 305
 White C. 299
 White D. 322
 Wiesner 325
 Wilcke C. 323
 Williamson E. 302, 303
 Willstätter R. 312
 Windelband C. 323
 Windelband W. 325
 Winchell 315
 Winogradsky S. 299, 301
 Winterstein E. 291
 Wolf E. 324
 Wolff C. 293
 Wrzosek J. 293
 Wülfig E. 313
 Wurtz I. 284
 Wurzer F. 299

 Yddings 334
 Young C. 302

 Zambonini F. 297, 312
 Zelinsky N. 319
 Ziess E. 310
 Zikes H. 299
 Zwaardemaker H. 330

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ РУССКИЙ.

- Абиогенез 225, 318
Авгиты см. Пироксены
Австралия 317
Автотрофность 330, 331
Автотрофные микробы 227
Азбест 127
Азия 156, 195, 225
Азот 22, 24, 28, 30, 39, 92, 105, 143, 148, 162 — 165, 175, 199, 200, 202, 219, 222, 264, 271, 272, 292, 305, 319
Азотистые углеродные соединения 146
Азотнометановые струи 271
Акмиты 121
Активный 22, 24, 233, 235 — 238, 244, 247, 266, 267, 269, 270, 333
Активный А 29, 236
 » В 236
 » С₁ 29, 236
 » С₁₁ 236
 » D 236, 237
 » Em 236
 » X 29, 236
Алкалоиды 163
Алкоголи 312
Алланыты 334
Аллофаноиды 308
Аллофаны 130, 308
Алмаз 155, 178
Алюминаты 64, 95, 96, 117
Алюминиевые гидраты 112, 307
 » руды 133
 » силикаты 98
Алюминий 22, 24, 28, 64, 94, 95, 97, 109, 111 — 113, 120, 121, 123, 127 — 131, 137, 138, 140, 143, 202, 311, 316
Алюминий гидрат окиси 111, 131, 308
Алюминий гидраты 112
 » окись 109
Алюмоборосиликаты 64
Алюмокремневые гидраты 111
Алюмосернокислое ядро 311
Алюмосиликаты 64, 80 — 82, 91, 95 — 97, 101, 112, 113, 117, 119, 129, 131, 134 — 136, 141, 155, 157, 165, 209, 210, 262, 302, 304, 309, 311, 316.
Алюмосиликаты каолиновые 115, 116, 118, 123, 125, 127, 136 — 139, 178, 279, 315
Алюмосиликаты каолиновые аммиачные 164
Алюмосиликаты каолиновые калия 116, 337
Алюмосиликаты каолиновые натрия 116
Алюмосиликаты магниевые 123, 137, 312
Алюмосиликаты натриевые 137
Алюмосульфаты 311, 315, 316
 » калиевые 123
Алюмофосфаты 138, 315, 316
 » аммониевые 138
 » калиевые 138
Алюнит 123, 311
Альбит 113, 311
Альмандин 65
Амазонка 49, 69, 174
Америка 72, 174
Аметисты 82
Аммиак 178, 305
Аммоний 164
 » бромистый 39
 » иодистый 39

- Аммоний фтористый 164
 » хлористый 164
 Амфиболит 297
 Амфиболы см. Роговые обманки
 Ангидриды алюмокремневые 97
 » феррикремневые 97, 99
 Англия 189
 Андалузит 115, 122, 308
 Антарктика 134
 Антигориты 127
 Антильские острова 296
 Антимониты 242
 Антрацит 328
 Аравия 50
 Аргон 22, 24, 28, 29, 199
 Арденнит 335
 Арканзас 72
 Арсенаты 80, 261
 Астрофиллит 64—66
 Асфальты 162, 165, 215, 262, 263, 265, 335
 Асцидии 262
 Атмосфера 55, 60, 83, 150, 156, 157, 164, 165, 179, 194, 200, 203, 204, 208, 210—212, 217, 218, 222, 230, 268, 271, 292, 328, 329
 Атмосфера свободная 52, 54, 57, 58 295
 Атом 6, 18—21, 23, 25, 27, 31, 32, 36, 37, 52, 54, 62, 83, 87, 235, 269, 28 290, 303, 330, 331, 333
 Атомы деятельные 268
 » свободные 269
 Африка 50

Бавалит 312
 Багия 65, 253, 297
 Базальты 160, 243, 246, 332
 Бактерии 75, 76, 78, 136, 138, 140, 141, 169, 186, 206, 214, 215, 314, 315, 321, 322, 324
 Бактерии кальциевые 220
 » марганцевые 75, 202
 » холеры 187
 Баку 162
 Баланс тепла 279
 Бананы 189
 Барий 22, 24, 28, 67, 70, 118, 119, 202, 260, 263, 267
 Бариты 267
 Батисейсмы 85
 Батолиты 50
 Бахчисарай 313
 Бейделлит 305
 Белки 125, 146, 162, 163, 180, 184, 187, 214
 Бельгийское Конго 261
 Бёментит 71
 Бензол 162, 172
 Бентос 190—192, 324
 Бериллий 22, 24, 27, 28, 31, 94, 256, 270
 Бетафит 258
 Бильбао 153
 Биосфера 17, 30—33, 39, 46, 50, 52, 56—58, 68, 76, 77, 79—81, 102, 108—110, 113—115, 123—126, 129, 132, 138, 141, 142, 145, 148, 150, 151, 158, 160, 172, 176—178, 180, 181, 188, 196, 205, 207, 209, 212, 222, 229, 244, 252, 256, 257, 260—262, 264, 265, 275, 301, 309, 313, 315, 321, 322
 Биотиты 125
 Биохимические процессы 73, 75
 Биоценозы 283
 Битумы 145, 175, 212—214, 216, 217, 222, 223, 264
 Благородные газы 28, 29, 32—34
 Бланфордит 65
 Бломстрандин 258
 Бобовые руды 308
 Богхеды 169, 174
 Бокситы 113, 139
 Болота 69, 77, 78, 80, 114, 136, 174, 189
 Бор 22, 24, 28, 92, 94, 95, 199, 200
 Борнит 40, 242
 Бравэзит 312
 Бразилия 71, 253, 254
 Браунит 67
 Брахиоподы 220
 Брёггерит 333
 Британская Гвиана 134
 Брожение 146, 209
 Бром 22, 24, 28, 32, 38—40, 41, 149 199, 202
 Бромаргирит 39

- Брызги 150
 Бурый железняк 110
- В**ады 66—73, 75, 77—79, 81, 301
 Ванадаты 261, 265, 335
 » осадочные 266
 » сложные 335
 » уранила 262, 263, 265
 Ванадий 22, 24, 28, 30, 94, 199, 202, 262—265, 335, 336
 Ванадинит 335
 Ванодиосиликаты 335
 Васьюганское море 174, 322
 Вашингтон 71, 175
 Везувий 242, 331
 Великий Луг 322
 Верхний Клават 174
 Вес живых организмов 187, 198
 Виды 48, 50
 Виноградные лозы 295
 Виргиния 174
 Висмут 22, 24, 28, 53, 237, 245, 336
 Внутренность земли 303
 Воздух 53, 164, 179, 190, 204, 208, 326
 Вода 8, 9, 13, 14 — 16, 32, 40, 45, 53, 73, 77, 78, 92, 93, 99, 101, 102, 104, 105, 107 — 109, 112, 113, 115, 118, 124, 127, 136, 137, 139 — 143, 145, 148, 150, 151, 154, 157 — 159, 168, 174, 178, 184, 189, 198, 203, 204, 208, 211, 219, 255—258, 262
 Вода вадозная 165, 251
 » конституционная 101
 » метеорная 69
 » минеральная 305
 » морская 53, 75, 77, 103, 134, 137, 187, 200, 207, 218 — 220, 253, 255, 256, 286, 294, 329, 338
 Вода озерная 75
 » поверхностная 291
 » пресная 75, 78, 108, 208, 305
 » придонная 77.
 » природная 67, 73, 77, 79, 82, 108, 126, 134, 135, 166, 210, 251, 255
 Вода речная 286
 Водные бассейны 264
 » растворы 261, 266
- Водород 21, 22, 24, 28, 30, 31, 39, 92, 100, 101, 105, 111, 115, 118, 143, 148, 157, 158, 162 — 164, 178, 199, 201, 202, 220, 237, 270, 274, 318
 Водород фтористый 303
 » хлористый 101
 Водоросли 48, 78, 123, 140, 149, 169, 174, 187, 188, 190, 202, 220, 292, 300
 Водоросли одноклеточные 149, 211, 214, 220
 Волны жизни 174
 Вольфрам 22, 24, 28, 64, 97
 Вольфрамит 64
 Воспроизведение 323
 Восточная Сибирь 254, 258
 Всемирное тяготение 43, 44
 Всемирный океан 55, 100
 Всюдность жизни 182—184
 Вулканические эманации 178
 » явления 275, 276
 Вулканы 14, 104, 150, 155, 208, 214
 Выветривание 208, 264
- Г**авайские острова 298
 Гавайя 69, 305
 Гадолий 22, 24, 33
 Газы 13, 14, 23, 45, 51, 53, 83, 102, 144, 146, 149, 151 — 153, 177 — 179, 184, 200, 203, 204, 206, 270, 296, 319, 323, 326
 Газы вулканические 156, 305
 » каменноугольные 209, 271
 » природные 208, 271
 Галенит 242
 Галлий 22, 24, 32
 Галлуазиты 114, 310
 Галоиды 92
 Гармония и экономия природы 188, 202
 Гауссманы 67
 Гафний 22, 24, 290
 Гейзеры 14, 135
 Геленит 117
 Гелиды ртути 290
 Гелий 22, 24, 25, 28, 29, 33, 234, 235, 237, 239, 244, 254, 266, 270, 272 — 274, 285, 337
 Гематиты 96

- Генезис минералов 286
 Геологическая система альгонкская 145
 Геологическая система архейская 193, 194, 231, 337
 Геологическая система археозойская 272
 Геологическая система докембрийская 134
 Геологическая система кембрийская 134, 137, 146, 193, 329
 Геологическая система мезозойская 314
 Геологическая система палеозойская 314
 Геологическая система плиоценовая 176, 231
 Геологическая система психозойная 231
 Геологическая система третичная 156, 314
 Геохимические циклы 86, 231
 Германий 22, 24, 27
 Гетиты 67, 110, 307
 Гидраргиллит 109, 110, 113, 123
 Гидратация 252
 Гидраты глинозема 137, 139, 309, 315
 Гидросфера 55, 56, 58, 60, 72, 79, 84, 100, 104, 134, 156, 190, 191, 199, 206
 Гилея 50
 Гипсы 38, 328
 Гидроиды 220
 Гидромусковиты 308, 317
 Гидронаядеи 300
 Гидротермы 256
 Главкониты 129, 136, 137, 312, 315
 Глинозем 142, 310
 Глины 72, 80, 99, 111, 113, 114, 127, 129, 136, 138—140, 142, 145, 176, 308
 Глины каолиновые 111—116, 118, 122, 129, 131, 132, 136, 138 — 140, 142, 209, 308—310, 315
 Глины сукновальные 130, 308
 Гнейсы 144, 253
 » графитовые 144
 Гниение 146, 209
 Голландия 79
 Голотурии 262
 Гондит 296
 Горные бумаги 130
 » кожи 130
 Горообразование 276
 Горючие ископаемые 223
 Гоутониты 125
 Гранаты 65, 80, 121
 Гранитогнейсы 144
 Граниты 90, 144, 252, 253, 259 — 261, 278, 319, 332
 Гранодиориты 90
 Графит 144, 145, 149, 152, 155, 158, 176—178, 213, 230, 318
 Гремучий газ 101, 177
 Гренландия 114, 160
 Грибы 75, 175, 206
 Грозы 152
 Грязи 192
 » морские 70
 Гуано 138, 215
 Губки 134, 137, 202, 307
 » морские 40
 Гумин 137
 Гуминовые соединения 78
 Гумусовые вещества 147, 149, 214, 215, 217
 Гюбнерит 64
Давление живого вещества 181
 Дания 191, 323, 326, 328
 Движения евстатические 103
 » орогенетические 177, 275
 » тектонические 275
 Двимаганг 22, 27, 289
 Декады химических элементов 24
 Делануит 305
 Демерара 134
 Денби 242
 Дендриты 71
 Дерево 263
 Диаспоры 95, 109
 Диатомеи 49, 132, 134, 140, 141, 186, 187, 202, 300, 314
 Диатремы 150
 Диско 160
 Дислокации 171
 Дисмальское болото 174, 322
 Дисперсные системы 106

- Диспрозий 22, 24
 Дистен 115, 122, 308
 Дитцеит 39
 Днепр 322
 Дожди 138
 Доломиты 126, 127, 157, 218
 Дунай 322
 Дым 218
 Дыхание 36, 42 — 44, 177, 206, 208, 231, 323
 Дыхание почвы 213
 Дюмортьерит 309, 310
 » β 310
- Е**вразия 114, 322
 Европа 65, 156
 Европий 22, 33
- Ж**гутиковые 300
 Железные слюдки 71, 80
 Железные руды 71
 Железо 22, 24, 28, 30, 46, 64, 66—69, 71, 75, 76, 78, 80—82, 90, 94—96, 97, 109, 115, 117, 119, 120, 125, 127, 131, 136, 137, 139, 157 — 159, 160, 199, 200, 202, 231, 260, 264, 303, 312, 315, 319, 328
 Железо азотистое 320
 » гидрат окиси 68, 72, 129, 136, 308, 318
 Железо, окись 109, 159, 164
 Железобактерии 75, 202, 300
 Железокремневые ангидриды 99
 Железомарганцовые руды 69
 Живая природа 183, 198
 Живое вещество 12, 30, 32, 33, 35, 37, 39, 41, 47, 50, 52, 56, 73, 74, 76, 77, 79, 81, 89, 104, 115, 123, 126, 129, 131 — 133, 135, 141 — 143, 146, 147, 150, 160, 163, 164, 166, 168, 170, 172, 174, 176 — 178, 180, 181, 184, 188, 191 — 193, 195, 196, 198, 200, 201, 203, 205, 210, 212, 213, 215, 223, 225, 228 — 231, 243, 249, 264, 265, 268, 280, 286, 292, 320, 324, 327, 329, 330, 335
 Живое вещество однородное 322
 » » разнородное 48, 179
- Животные 49, 51, 74, 79, 135, 174, 179, 215, 227, 228, 299, 301, 324, 327
 Животные беспозвоночные 220
 » высшие 165
 Живые белки 180
 » организмы 63, 66, 132, 210
 Жизненный цикл 172, 212 — 216, 220, 222
 Жизнь 11, 14, 15, 17, 18, 41, 42, 46, 47, 78, 102, 104, 105, 136, 137, 141, 146, 171, 177, 182, 184, 196, 228, 264, 282, 324
 Жизнь анаэробная 169
 Жилы 260
 » гидротермиальные 262, 263
 » конкреционные 259, 266
 » метасоматические 259
 » пегматитовые 259, 261, 266
 Жиры 146, 184, 187, 256
- З**абайкалье 79, 258
 Загар пустыни 72
 Закон бережливости 213
 Замбези 174
 Западная Сибирь 50, 175
 Запахи 151
 Заурановые атомы 331
 Звезды 25, 91, 285, 303, 331
 Зеленое живое вещество 30, 140, 190, 206, 212, 231
 Зеленые растения 12, 75, 132, 149, 188, 191, 203, 206, 208, 211, 223, 227, 228, 324
 Зеленые хлорофильные организмы 204, 205
 Земледелие 231
 Землетрясения 14, 84
 Земля 331
 Земная кора 18, 19, 23—26, 29, 30, 35, 36, 60, 61, 76, 86, 87, 90, 97, 100, 101, 104, 105, 124, 143, 144, 161, 186, 232, 274, 276—278, 280, 303, 329—331
 Земное ядро 87, 88, 159, 274
 Злаки 48, 189, 3
 Зола, анализы 190
 » растений 332
 Золото 22, 24, 27, 28, 53, 133, 196, 199, 295

Зостера 190, 300
 Зуниит 111

Иглокожие 220
 Идаго 27*

Известковые водоросли 49, 50.
 Известняки 60, 72, 80, 127, 155, 157, 176, 193, 214, 215, 217, 218, 220, 221, 230, 242, 309, 317, 328
 Известь 209, 231, 329
 Излучения α 233, 235, 273
 » β 233, 235, 240
 » γ 233, 235

Изостазис 18, 277, 278
 Изостатическая поверхность 61, 84
 Изотермический слой 83
 Изотопы 21, 23, 31, 234, 236, 237, 248, 249, 289, 290, 333

Иллиний 27, 289
 Илы 114, 148, 168, 305
 Индиана 315
 Индий 22, 31, 96
 Индийский слон 187
 Индия 72, 253, 254, 296
 Инфузория 186
 Иод 22, 24, 28, 32, 38—41, 143, 149, 199, 200, 202, 291, 292
 Иод, пары 292
 Иодиды 291
 Иодобромит 39
 Иодорит 39
 Иодэмболит 39
 Ионий 22, 29, 89, 234, 236—239, 244, 260, 261, 266, 267, 269
 Ионы 52
 » водорода 207
 Иохимов (Иохимсталь) 260, 261, 263, 333
 Иридий 22, 24
 Источники 69, 100, 255, 334
 » горячие 275
 » минеральные 78, 135, 208, 256, 271

Италия 123, 156, 323
 Иттербий 22, 24²¹
 Иттрий 22, 24, 31, 33, 94, 95, 256, 258, 333, 334

Кавказ 156, 162
 Кадмий 22, 24, 28, 96
 Кадурит 296
 Калий 13, 22, 24, 28, 33, 67, 89, 118 — 120, 129, 136 — 138, 192, 200, 202, 240, 246, 247, 263, 273, 277, 305, 311, 331, 332, 338
 Калифорния 168, 165
 Кальциевые канкриниты 153
 Кальций 22, 24, 28, 39, 53, 63, 67, 70, 82, 118 — 120, 124, 127, 137, 143, 199, 200, 202, 216, 218, 220, 221, 258, 260, 263, 273, 302, 305, 311, 313
 Кальций иодноватокислый 38
 » сернистый 33
 » углекислый 82, 216, 218, 220, 221, 223, 328
 Кальций фосфорнокислый 184
 Кальцит 140, 156, 242, 317
 Канада 69
 Канзас 78, 271
 Канкриниты 154
 Каолин 99, 111 — 113, 115 — 117, 121, 123, 129, 139, 140, 304, 311, 313, 315
 Каолинизация 136
 Каолиновое ядро 114, 116, 118, 120, 122, 125, 131, 132, 135 — 142, 309, 311, 315
 Карбиды 145, 159, 160, 163, 176, 178, 319
 Карбонатосйликаты 153, 155, 178
 Карбонаты 70, 80, 81, 108, 113, 136, 144, 145, 153, 154, 157, 177, 178, 180, 184, 209, 210, 216, 218 — 223, 229, 261, 263, 297
 Карбонаты кальция 212 — 214, 216, 219, 222, 265
 Карбонаты магнаия 126
 » марганца 75
 Карбонильные соединения железа 154
 » » никеля 154
 Карбонилы 145, 152, 178, 318
 Карнититы 263, 265, 335
 Карпаты 323
 Каррарский мрамор 294
 Кассиопий 22
 Касситерит 242
 Катализаторы 329
 Каустоблиелит 169, 171, 173

- Кванта 234, 235
 Кварц 91, 93, 96, 108, 109, 115, 116,
 123, 131, 134, 142, 157, 218, 307, 308,
 317, 319, 321
 Кварцин 109
 Кварцит 49, 134
 Квасцы 123, 311
 Квебек 298
 Квинсланд 78
 Кельтий 290
 Керамит 121, 308, 309
 Керчь 78, 298
 Кеффекилит 313
 Киев 114, 317
 Кингс-Уэльс 256
 Кислород 22 — 24, 28, 30, 31, 39, 44 —
 46, 91, 92, 95 — 97, 101, 104, 105,
 108, 111, 118, 133, 135 — 137, 139,
 141, 143, 144, 148, 151 — 155, 157 —
 159, 164, 168, 170, 178, 181, 193,
 199, 201, 202, 220, 222, 250, 264, 293,
 305, 316, 318, 319, 329
 Кислота алюмокремневая 304
 » вольфрамовая 64, 81
 » маргаритовая 130, 131
 » метакремневая 93
 » муравьиная 154, 157, 318, 329,
 330
 Кислота ниобовая 64, 81
 » ортокремневая 93
 » серная 123
 » танталовая 64, 81
 » титановая 154
 » фосфорная 316
 Кислоты гуминовые 114
 » жирного ряда 165
 » кремневые 107
 » нафтенческие 165
 » хлоритовые 129
 Кислые магниевые силикаты 308
 Кларен 312
 Классификация химических элемен-
 тов 21
 Клевеит 258, 333
 Клинохлоры 117, 122
 Кобальт 22, 24, 28, 67, 81, 94, 96, 264
 Когенит 159
 Кокколитофориды 220
 Кокосферид 220
 Кокцинит 39
 Количество жизни 193, 194
 Коллоиды 105, 107, 109, 110, 136, 151,
 254, 306, 307
 Коллоиды кремнезема 105, 131
 Колорадо 254, 261, 263, 265
 Колумбиты 54, 196
 Кометы 209
 Континент 138, 230, 264, 325
 Кора выветривания 59, 61, 72, 137,
 170, 172, 257
 Кораллы 49, 50, 220
 Кордиерит 125
 Корнваллис 260
 Короний 23, 285
 Корунд 95, 96
 Космос 183, 209
 Космическое пространство 274
 Космическая пыль 89
 Кости 263
 Котопаха 156
 Красная глина 297
 Красный ил 68
 Кремнево-алюминиевые соединения 95
 » железные соединения 95
 Кремневые соли 93, 309
 » сульфосоли 92
 Кремнезем 91, 98, 107 — 109, 111, 123,
 136, 187, 209, 303, 304, 308, 311
 Кремнезем аморфный 307
 » , гели 108
 » , золи 108
 Кремнеорганические соединения 307
 Кремний 22, 24, 28, 63, 64, 67, 82, 90,
 92—95, 97, 99, 105, 111—113, 119—
 121, 124, 128 — 133, 135, 140, 143,
 186, 187, 193, 199, 200, 202, 270,
 303, 314, 316
 Кремний азотистый 320
 » фтористые соединения 92
 » фтористый 92
 » хлористые соединения 92
 Криноиды 220
 Криолит 95
 Криптон 22, 24, 28, 290
 Круговорот газов 179
 Ксантосидерит 308

- Ксенолит 310, 311
 Ксенотим 32, 243, 251, 254, 334
 Кумберланд 242
 Купроидаргирит 39
 Кутаисская губерния 70
- Лавровит** 335
 Лавы 46, 51, 87, 164
 Лантан 22, 24, 33, 291
 Латеризация 137, 139
 Латерит 69, 139, 316
 Лаутерит 38, 39
 Лев 185
 Леверрьерит 98, 99, 115, 119
 Ледники 114, 185
 Ледниковые периоды 196, 211
 Лейкократы 120
 Лейцит 119, 121, 122, 311
 Лейяс 134
 Лёс 114
 Леса 49, 191
 - » болотистые 173, 189
 - » таксодия 174
 Летучие мыши 138
 Лигнин 172, 175, 214, 215
 Лигнит 173, 328
 Лимониты 67 — 69, 71, 75, 78, 110,
 131, 137, 297, 308
 Лотарингия 71, 298
 Литий 22, 24, 28, 31, 53, 67, 118—120,
 199, 256
 Литосфера 56, 59, 104, 145, 199
 Лишайники 75, 78, 136, 189, 300
 Лошадь 185
 Луга 189, 314, 324
 Луизиана 164
 Лучистая материя 52, 269
 Луаврит 296
 Люминисценция 53
 Лютеций 22, 24
 Льды 45, 100, 196, 305
- Магма** 14, 37, 52, 56, 89, 97, 100, 101,
 104, 120 — 122, 125, 131, 142, 155,
 157, 158, 164, 196, 230, 248, 254,
 255, 257, 260, 272, 275, 280,
 319
- Магматические сегрегации 63, 66
 Магмосфера 59, 154
 Магнезит 126
 Магнетит 96, 97
 Магний 22, 24, 28, 66, 81, 94, 97
 117 — 120, 123 — 125, 127 — 129, 131,
 136, 137, 143, 199, 201, 202, 270,
 303, 311, 312
 Магний, водные карбонаты
 » » силикаты 126, 129.
 131, 142, 308, 311
 Мадагаскар 265, 317, 336
 Мазурий 289
 Майрсит 39
 Манганит 63, 64, 70, 80
 Маниок 189
 Маранкао 253
 Марганец 22, 24, 28, 30, 46, 53, 55,
 63, 67, 78, 79, 81, 94, 97, 119, 120,
 143, 202, 270, 292, 294, 296, 297,
 298, 300, 301
 Марганцовые гранаты 64
 - » организмы 75, 76
 - » пироксены 296
 - » роговые обманки 65, 296
 Маргарит 117
 Маргаритовые силикаты 311
 Мариньякит 164, 320
 Марказит 315
 Марс 102
 Масса земли 337
 Маршит 39
 Медь 22, 24, 28, 30, 39, 50, 53, 67, 70,
 96, 124, 199, 200, 202, 231, 260, 262,
 264, 294
 Мезозойские песчаники 263
 Мезоторий I 233, 238
 » II 233, 238
 Меланократы 120
 Мели 160
 Мелимет 117
 Менделеевит 258
 Мергеля 80, 129, 130, 137, 308
 Месторождения марганца 69
 Метаболизм 36
 Металлическое состояние 250
 Металлы, 9, 16, 21, 30, 231, 240, 250,
 264

- Метан 151, 152, 157, 158, 160, 177, 178, 203, 204, 271, 318
 Метасиликаты 64, 93, 124, 130, 131
 Метеориты 12, 17, 25, 89, 154, 160, 209, 248, 249, 312, 333
 Метил-хинолеин 162 — 164, 215
 Миграции 36, 37, 47, 55, 77, 83, 85, 89, 136, 141, 143, 150, 180, 186, 187, 193, 229, 238, 280, 316
 Миграция нефти 171
 Микробы 63, 140, 150, 151, 175, 182, 183, 185, 186, 189, 192, 204, 227
 Микроорганизмы 203, 301, 315
 Микрокосмические смеси 231, 236
 Минералы 12, 13, 15, 17, 20, 30, 31, 37 — 40, 48, 49, 51, 52, 56, 62, 63, 65, 70, 78, 81, 89, 100, 148, 154, 193 — 195, 197, 202, 214, 231, 237, 242, 269, 292, 302, 333
 Минералы биогенные 223
 » вадозные 131, 229
 » » биосферы 305
 » » марганца 66
 » гидротермиальные 309
 » радиоактивные 287
 » радия 267
 » тория 237, 243, 246, 250, 251, 254
 Минералы ураня 237, 239, 243, 249, 250 258
 Минералы фреатические 131
 » эндотермические 279, 280
 » ювенильные 131
 Минервит 316
 Миссури 78
 Мицеллы 106 — 108, 151
 Млекопитающие 143
 Мозг человека 165
 Молекулы 7, 17, 26, 31, 37, 42, 56, 150, 194
 Молибден 22, 24, 28
 Моллюски 220
 Монацитовые россыпи 334
 Монацит 334
 Море 19, 70, 74, 80, 208, 230, 277, 301, 309
 Море Адриатическое 187
 » Балтийское 69
 Море Баренцево 69
 » Белое 301
 » Карское 69
 » Красное 49
 » Средиземное 328
 » Черное 69, 301
 Московский Университет 20
 Мрамор 49, 53
 Муллит 121, 308, 309
 Муравьиный альдегид 154, 318
 Мусковит 308, 317
 Муть 151
 Мхи 189
 Мышьяк 22, 24, 28, 31, 38, 96, 199, 200

Накорняк 319
 Налеты 152
 Наружные оболочки небесных светил 247
 Насекомые 51, 187
 Настуран 260, 333
 Натрий 22, 24, 28, 31, 39, 53, 118 — 120, 137, 199, 201, 202, 311
 Натрий иодноватокислый 38, 39, 291
 » хлористый 120
 Нафтенy 162
 Небесные светила 303
 » тела 29
 Небулий 23, 285, 289
 Неодим 22, 24, 33
 Неон 22, 24
 Нептунисты 14 — 17
 Нефелиновые сиениты 97, 296
 Нефелины 121
 Нефть 146, 147, 150, 152 — 154, 156, 157, 159, 160 — 162, 164 — 167, 168, 170 — 172, 174 — 178, 188, 193, 201, 212 — 216, 222, 223, 230, 262, 319 — 321, 323, 336
 Нефть пенсильванская 162
 Нивенит 333
 Никель 22, 24, 28, 96, 124, 160, 262, 318, 319
 Никополь 70
 Ниобаты 80
 Ниобий 22, 24, 64, 97, 252, 254, 256, 258

- Нитон 22, 24, 28, 29, 53, 234, 236, 238, 242, 266 — 269
- Нитраты 329
- Нитрид железа 163, 164
- » кремния 164
- Новакулиты 72
- Новая Зеландия 156
- Норвегия 71, 153
- Ньюфаундленд 71
- Область вадозная 81, 213, 254, 266
- » карстовая 137
- » молекул и кристаллов 59
- » фреатическая 81, 178, 213, 254, 266
- Область цементации 141
- » ювенильная 81, 178, 213, 254, 266
- Оболочка 55, 58, 83
- » азотная 58
- » азотнокислородная 58
- » атомная 58
- » базальтовая 59, 85, 90, 277, 278, 302
- Оболочка базальтово-дунитовая 295
- » верхняя 58
- » верхняя метаморфическая 59
- Оболочка водородная 58, 274
- » газовая 48
- » гелиевая 58, 274
- » гранитная 59, 85, 153, 277, 278, 302
- Оболочка жидкая 58
- » земная 52, 58, 60
- » лучистые 57, 58, 295
- » магматическая 59
- » метаморфическая 60, 61
- » нижняя метаморфическая 59
- Оболочка осадочная 59, 60, 141
- » парагенетические 57, 58
- » перидотитовая 85, 302
- » поверхностная 58
- » световая 58
- » стекловатая 59
- » термическая радиоактивная 59, 295
- Оболочка термодинамическая 56, 58, 62, 63, 65, 296
- Оболочка ультрафиолетовая 57, 58
- » фазовые 58
- » химические 58
- » электронная 58
- Оболочки клеток 132
- Обь 49, 174
- Оверн 156
- Однородные живые существа 48, 51
- Озера 68—70, 77, 78, 80, 114, 168, 174, 175, 208, 314, 322, 326
- Озера соленые 301
- Озон 76, 323
- Океан 39, 45, 50, 53, 60, 68, 70, 77, 85, 100, 103, 126, 140, 145, 183, 184, 186, 190, 194, 199, 200, 201, 207, 208, 210, 211, 214, 216 — 221, 230, 245, 251, 253, 256, 277, 278, 306, 328
- Океан Антарктический 68
- » Атлантический 68, 134, 191, 328
- » Индийский 68, 134
- » Тихий 68, 134
- Окремнение 135, 314
- Оксидазы 76
- Оксифтористые соединения кремния 92
- Оливин см. Перидоты
- Олимпийские горы 71
- Олово 22, 24, 28, 94, 133, 231, 260
- » окись 196
- Оолитовые руды 298
- Оолиты 214
- Опалы 107, 108, 110, 112, 113, 127, 129, 133, 134, 142, 184, 307, 308
- Оптическая активность нефтей 165
- Организмы 11, 12, 40, 49, 135, 171, 174, 204, 219, 292, 300
- Организмы богатые кремнием 133, 135
- » кальциевые 220
- » концентраторы 201
- » кремневые 133, 135
- » кремнеземные 202
- » микроскопические 149
- » ультрамикроскопич. 149
- Органические вещества 134, 135, 137, 144, 174, 184, 214, 215, 260, 263 — 266, 314, 324, 328

- Органические молекулы 194, 293
 › соединения 78, 318
 Органогенные элементы 15, 31
 Орегон 174
 Ориноко 49, 174
 Ортиты 33, 244, 251 — 254, 257, 291, 334
 Ортогнейсы 144
 Ортоклаз 113, 122, 125, 308
 Ортосиликаты 64, 98, 117, 124, 130, 131
 Осадки 185
 Осадочный тип ванадатов 263, 266
 Осмий 22, 24, 28
 Острова 138, 230, 264, 325
 Отенит 260, 265
 Отложения ветра 185
 › рек 185
 Оттрелит 117, 128
- Падающие звезды** 209
 Палеонтологическая эволюция 231
 Палладий 22, 24, 30, 261, 266, 267, 269
 Палыгорскиты 130
 Панталасса 104, 306
 Парагенезис 194
 Парагнейсы 144
 Параффины 162
 Париж 156
 Пары воды 206, 209
 Пассау 152
 Пауки 187
 Пегматитовые жилы 334, 338
 Пегматиты 63, 66, 100, 101, 252, 253, 256, 257, 259, 261
 Пенеплена 102
 Пеннины 117, 129
 Пенсильвания 162
 Перекись водорода 76
 Перидоты 120, 124, 128, 304, 312
 Периодическая система элементов 21, 22, 26, 28, 33
 Периодичность геологических явлений 278
 Пески 176
 Песчаники 60, 72, 80, 134, 145, 176, 218, 262, 265
- Пещеры 138
 Пиридин 162, 163
 Пиренеи 309, 334
 Пироксены 65, 91, 120, 124, 138, 142, 335
 Пиролюзит 66, 69—73, 79, 81
 Пироморфиты 267
 Пироп 125
 Пирофиллит 112, 113, 311
 Питание 36, 42—44, 231
 Плазма 141
 Плазмогенез 314
 Планарии 156
 Планетное высыхание 103, 104
 Планеты 102, 275, 303
 Планктон 49, 50, 169, 174, 190, 191, 211, 220, 314
 Пласмогенисты 306
 Платина 22, 24, 28, 30
 Плауны 300
 Пленки жизни 190
 › › донная 190
 › › планктонная 190
 Площадь океана 207
 › суши 207
 Плутонисты 14, 17
 Пневматолит 257
 Подпочвы 69, 77, 114, 127, 189
 Позвоночные 143, 187, 200
 Поле миграций атомов 83
 Полевые шпаты 69, 91, 121, 123, 136, 138, 139, 142, 155, 287, 309, 315, 317, 338
 Полианит 66
 Полиметаллические месторождения 264
 Полоний 22, 24, 29, 236, 237, 267, 269
 Поля равновесий 56
 Породы 100, 197, 242, 302, 332, 334
 › биогенные 134
 › вадозные 155
 › вулканические 65, 242, 331
 › горные 48, 52, 243, 306, 338
 › гранитные 157, 246
 › жильные 63, 97
 › изверженные 64, 65, 144, 158, 199, 208, 243, 252, 277, 334
 Породы изверженные средние 252

- Породы изверженные кислые 64, 199, 242, 244, 245, 248, 251, 252, 254, 266, 278, 306, 334
- Породы массивные 134, 244, 245, 255
- › метаморфические 144, 145, 155, 243, 296
- Породы осадочные 60, 114, 145, 218, 242—244, 262, 328
- Породы основные 64, 245, 246, 252, 278, 306
- Породы перидотитовые 245
- › плутонические 242
 - › сапропеловые 176
 - › ультраосновные 245, 246
- Почвоведение 286
- Почвы 69, 75, 77, 114, 127, 136, 148, 165, 189, 190 — 192, 199, 205, 206, 209, 215, 244, 295, 298, 300, 305, 316—318
- Почвы болотистые 324
- › вулканические 69
- Празеодим 22
- Призматин 117
- Принцип Карно 226
- › Реди 166, 224, 282, 329
- Продукты присоединения к каолиновым ядрам 310
- Проникающие лучи 241
- Протоплазма 132, 180, 186
- Протоактиний 22, 29, 89, 235, 236 — 238, 244
- Процессы вторичные 63
- › вулканические 278
 - › геохимические 89
 - › гидротермальные 336
 - › горообразовательные 278
 - › круговые 15, 30, 62, 85, 102, 194
- Процессы первичные 63
- › радиоактивные 76, 196
- Пруды 174
- Псиломеланы 66, 67, 69—72, 81
- Психозойная эра 231
- Птицы 138
- Пшеница 324
- Пыль 72, 151
- Р**авновесия 36, 56
- Радбосфериты 220
- Радий 22—24, 26, 27, 29, 89, 199, 233, 234, 236 — 239, 242, 244, 247, 254, 256, 259, 260, 261, 266, 267, 269, 272, 292, 332, 334
- Радий А 29, 234, 237, 238, 331
- › Ас 29, 236
 - › В 234, 238, 331
 - › С₁ 29, 234, 237, 238
 - › С₂ 234
 - › D 234, 238, 248
 - › E 234, 237, 238, 247
 - › F 234, 238
 - › G 234, 236, 237, 270
- Радиоактивность 87, 337
- › растений 332
- Радиоактивные равновесия 237
- Радиоактивный распад 241, 280
- Радиолярии 134, 202, 307, 314
- Радиоторий 29, 233, 238
- Радон см. Нитон
- Размножение организмов 150, 181, 182, 184, 185, 188, 207, 208, 231, 317
- Распыление 150, 151
- Рассеяние 17, 31, 37, 52, 53, 56, 63, 82, 149, 152, 216—218, 244, 246, 252, 254, 262, 266 — 269, 271, 280, 290, 292
- Рассеяние углерода 230
- Растения 11, 12, 74, 132, 135, 136, 143, 163, 165, 179, 263, 282, 291
- Растения бесхлорофильные 149
- › богатые марганцем 300
 - › водные 74
 - › высшие 215
 - › морские 123
 - › споровые 215
- Растительность болотная 169
- › древесная 169
 - › зеленая 169
 - › лесная 169
 - › моховая 169
 - › травяная 169
- Ргани 301
- Регрессии 103
- Редкие земли 94, 95, 251, 252, 254, 289, 294, 333, 334
- Рейн 322
- Рейний 289

- Рейнские провинции 157
 Реки 19, 49, 72, 77, 78, 114, 134, 208,
 210, 218, 219, 221, 301, 322, 326
 Рён 156
 Ренсселярит 128
 Рим 243
 Рио-де-Жанейро 253
 Роговые обманки 91, 100, 124, 142,
 297, 335
 Роданистые соединения 164
 Родий 22, 24
 Родохрозиты 71, 298
 Розовые кварцы 82
 Роса 72
 Россия 69
 Россыпи 252—254, 266
 Рост 231
 Ртуть 22, 24, 28, 29
 Рубидий 22, 24, 31, 33, 89, 199, 240,
 246, 247, 256, 273, 277, 287, 331, 332,
 338
 Рудные ископаемые 20
 Руды железа 127
 Руды марганца 64, 71, 72, 80, 301
 Рум 296
 Румыния 69
 Русский Геологический Комитет 175
 Рутений 22, 24
 Рыбы 192
- С**амарий 22, 24, 33
 Самарскиты 258
 Самопроизвольное зарождение 225
 Самородное железо 160, 319
 Самородный углерод 149, 176, 178, 217
 Самородные элементы 9
 Санкт-Катерина 319
 Санторин 156
 Сапропели 169, 170, 175, 264, 319
 Сапропелиты 170
 Сапрофиты 326
 Саранча 49, 50
 Саргассово море 50
 Свинец 22, 24, 28, 33, 39, 50, 133, 199,
 235, 237, 239, 240, 244, 245, 247, 248,
 254, 260, 261, 264, 266, 267, 270, 333
 Свинец активный 333
 Свободная сера 164
- Свободный азот 163
 > иод 292
 > кислород 73, 76, 123, 164,
 168, 177, 180, 203, 213, 222, 223, 227,
 229, 260, 264, 294, 329
 Свободный углерод 222
 Сгущения жизни 171, 322
 > прибрежные 190
 > саргассовые 190
 Северная Америка 60, 72, 79, 114,
 156, 254, 263
 Северная Африка 50, 138
 > Каролина 174
 > Россия 324
 Северное сияние 289
 Северо-Амер. Соед. Штаты 65, 175,
 271
 Северо-Восток России 69
 Селен 22, 24, 38, 120
 Селитры 38, 291
 Семена 149
 Сент-Остель 242
 Сера 22, 24, 28, 30, 46, 94, 96, 120,
 148, 164, 165, 199, 200, 202, 260, 265,
 316
 Серебро 22, 24, 28, 38, 39, 133, 199,
 264
 Сернистый газ 178
 Серный ангидрид 123, 178, 231
 Сероводород 101, 154, 165, 178, 231,
 286
 Сероокись углерода 154, 157, 178
 Серпентины 127, 128, 130, 142, 312, 313
 Сибирь 117
 Силанолы 312
 Силикаты 64, 70, 80, 81, 90, 92, 93,
 96, 97, 101, 107, 108, 113, 123, 127,
 134, 135, 137, 209, 210, 252, 261, 262,
 304, 309
 Силикаты кальциевые 302
 > каолиновые 153, 309, 311
 > магниевые 126
 Силикофлагелляты 135
 Силлиманит 98, 99, 111, 115, 116, 121,
 122, 142, 305, 308, 309, 311
 Силур 176
 Сильвестрит 163, 320
 Симметрия 166, 320

- Симплон 242
 Сицилия 156
 Скакит 64
 Скандий 22, 24, 31, 33, 94, 95, 287
 Скандинавия 69
 Скаполиты 121, 154
 Сланцы 71, 114, 308
 » битуминозные 161, 169—171, 174
 Сланцы гематитовые 71
 » глинистые 80
 » квасцовые 123
 » кристаллические 50, 145
 » слюдяные 129
 » смолистые 215
 » углистые 145
 » хлоритовые 120
 » хлоритовидные 128
 Сложные ангидриды 93, 94, 98, 249, 250
 Сложные ангидриды кремнево-льфрамовые 94
 Сложные ангидриды кремнево-молибденовые 94
 Сложные ангидриды кремнево-фосфорные 94
 Слюды белые 111
 » черные 125
 Слюды 64, 91, 100, 121, 136, 142
 » литинистые 243
 » марганцовые 296
 Смолистые продукты 147
 Смоляная руда, см. настуран
 Снега 45
 Сода 98
 Соединительная ткань 132
 Сознание 231
 Солнце 25, 51, 52, 73, 87, 89, 141, 142, 188, 191, 229, 303
 Солевой остаток воды 194
 Соль 324
 Сольфатары 296
 Состав биосферы 199
 Сперрит 153
 Споры 149, 174, 175
 Среда 321
 Ставролит 117
 Старицы 174
 Стеатит 127
 Стекло 100, 101
 Стратосфера 44, 52, 58, 83, 102, 274
 Стронций 22, 24, 28, 119, 199, 202, 273, 328
 Сульфаты 296
 Сульфиты 250, 315
 Сульфобазы 250
 Сульфосоли 250
 Сурьма 22, 24, 28, 38, 96
 Суша 207, 208, 246, 277, 278, 306
Тайга 50
 Таллий 22, 24, 237, 336
 Тальки 127, 130, 142
 Тантал 22, 24, 64, 97, 252, 254, 256, 258
 Танталаты 80, 252, 296
 Танталит 64, 80, 296
 Тарапаки 291
 Температура 275
 Темплъ 263
 Теллур 22, 24, 120
 Тепловой режим 244, 245, 275, 277
 Тепловые радиации 59
 Тербий 22, 24
 Термы 14, 103, 155 — 157, 251, 255, 292, 318
 Термьерит 112
 Терпены 151
 Техас 164
 Тиофены 164, 165
 Титан 22, 24, 28, 94, 97, 145, 199, 252, 256, 258, 287
 Титанаты 64
 Титано-ниобаты 252
 » силикаты 64, 65
 Ткани 314
 Токорналит 39
 Тольфа 123
 Топаз 92, 111
 Торбернит 260
 Торианиты 243, 248, 257, 259,
 » α 258, 333, 335
 » β 333
 Ториевые водные силикаты 252
 » нитраты 249
 » сульфаты 249

- Торий 22, 24, 29, 32, 63, 89, 233, 234, 236, 237, 239—247, 249, 251, 252, 254, 256—261, 266, 267, 269, 270—273, 275, 277, 333, 334, 337
- Торий А 29, 233, 238
- » В 233, 238
- » C_I 29, 233, 238
- » C_{II} 233
- » D 233, 236—238, 247, 270
- » V 336
- » X 29, 233, 238
- » окись 249
- Торфяники 146, 170, 189
- Торфы 168—171, 175, 215, 265
- Траванкор 253
- Трансгрессии 103, 278, 305
- Трахиты 153
- Третичная эпоха 156
- Тропики 134, 136, 139, 189
- Тропосфера 23, 44, 58, 60, 83, 206—208, 210
- Тулий 22, 24
- Туманности 89, 274, 285, 303, 331
- Тундры 69, 189, 324
- Турмалины 64
- Турьит 307
- Туфелька 186
- Тюямуниты 263, 265
- Тюямунит 263
- Тяготение 88
- У**ванит 263
- Углеводороды 110, 149, 152, 153, 155, 158, 159, 161, 162, 169, 172, 177, 215, 217, 222, 272, 279
- Углеводы 146, 184, 187
- Углекислота 30, 107, 108, 113, 118, 135, 136, 139—142, 144, 145, 151—154, 156—160, 163, 175, 177, 178, 184, 203—213, 215, 216, 218, 222, 230, 231, 272, 293, 308, 319, 326, 327, 329
- Углерод 22, 24, 28, 30, 31, 46, 63, 92, 94, 105, 107, 120, 142—146, 148, 149, 151, 153, 159, 160, 162—164, 166, 167, 172, 175, 177, 178, 180, 189, 190, 192, 193, 199, 200, 202, 203, 209—211, 213—222, 225, 229, 230, 317, 324, 328
- Углерод гидраты 211
- » окись 145, 152, 154, 157—160, 163, 176—178, 203, 204, 279, 318, 319
- Углеродистые минералы 147, 177, 212, 214
- Углеродистые соединения 180
- Углистая пыль 152
- Углистые вещества 265, 336
- » тела 149, 155
- Уголь 145, 147, 172, 178, 188, 193, 213, 222
- Уголь битуминозный 169, 322, 328
- » каменный 156, 160, 165, 169, 171—174, 177, 196, 209, 212, 214—218, 223, 227, 230, 231, 312, 318, 321, 322, 326—328
- Уголь природный 168, 169
- Угольный ангидрид 155
- Украина 69
- Ультрамикробы 185
- Ультрафиолетовые волны 57
- » лучи 66, 164, 329
- Урал 308, 311
- Уран 22, 24, 29, 32, 63, 89, 199, 234, 235—244, 246, 247, 249, 252, 254—261, 263—267, 269—273, 275, 277, 285, 292, 332—335, 337
- Уран I 234, 236
- » II 236, 238
- » X 238, 331
- » X_1 234
- » X_2 234
- » Y 235, 236, 238
- » Z 235, 236
- » окись 250, 333, 335
- » сернистый 333
- » трехокись 257
- Уранил 250, 257, 258, 261, 263, 318, 335
- Ураниловые соли 266
- Ураниниты 258, 335
- Ураниты 258
- Урано-ванадиевые асфальты 263
- » ниобиты 258—260, 267
- » » α 259, 267, 333
- » » β 259, 267, 333
- » танталаты 258

Урано-титанаты 258
 Урановая смоляная руда 250
 » чернь 260, 335
 Урановые соли 250
 Урановый титанониобит 258
 Урединеи 75, 300
 Урожай 327
 Урожай почв 210
 Устойчивость минералов углерода 146
 Ута 261, 263, 265

Фенгит 153
 Фергана 261, 263
 Феррисиликаты 64, 97, 124, 127, 131,
 136, 137, 308, 312
 Ферриты 64, 80, 81, 96
 Фитосоциология 283
 Флорентий 289
 Флорида 174
 Фогельсберг 156
 Фораминиферы 137, 220
 Формальдегид 178
 Формол 318
 Формы нахождения 36, 56, 66
 Форстерит 93
 Фосфаты 64, 80, 95, 263
 Фосфор 13, 22, 24, 28, 30, 31, 67, 97,
 138, 164 — 166, 199, 200, 202, 292,
 316
 Фосфорно-кислые соединения 95
 Фосфорно-лантановые ангидриды 251
 Фосфорно-цериевые » 251
 Франция 271, 295, 316
 Фтор 22, 24, 28, 31, 199, 200, 256
 Фумаролы 296

Жабазит 117
 Халцедон 108, 109
 Хвойные 300
 Химические необратимые процессы
 102
 Химический состав живого вещества
 195, 197
 Хинолеины 146, 162 — 164
 Хитины 146
 Хлеба 189
 Хлор 22, 24, 28, 39, 96, 120, 199, 201,
 202

Хлоритоиды 117, 128, 129, 130, 131,
 142, 313
 Хлориты 108, 117, 125, 128, 130, 131,
 142, 308, 312, 313
 Хлороидат магния 291
 Хлорофиллы 30, 46, 125, 126, 141,
 146, 204, 205, 294, 312
 Холестерины 165, 215
 Холмий 22, 24
 Хром 22, 24, 28, 39, 94, 97, 264

Цветение воды 174, 188
 Цезий 22, 24, 28, 31, 256, 287
 Цейлон 152, 248, 257, 259
 Целестины 242
 Целлюлоза 215
 Центральная Европа 210
 Цеолиты 117, 121, 309
 Церий 22, 24, 33, 251, 334
 Церосиликаты 251
 Циан 145
 Цианистые соединения 164
 Циклы обратимые 280
 Цинк 22, 24, 28, 30, 50, 53, 66, 70,
 81, 94, 96, 124, 199, 200, 202, 231,
 262, 264, 294
 Цинковая обманка 242
 Циркон 94
 Цирконий 22, 24, 94, 290

Частицы 52, 234, 235, 250
 » α 234, 273
 » β 234
 » γ 234, 235

Чевкинит 258, 234, 235
 Человек 14, 232, 280, 331
 Человечество 228, 230, 231, 330
 Черви 220
 Чернозем 69, 70, 298
 Черные реки 175
 Чехо-Словакия 260
 Чиатури 70, 71, 301
 Членистоногие 189

Шамозиты 312
 Шварцбергит 39
 Шотландия 69
 Шпинели 64, 80, 81, 95, 97, 125

- Э**волюция видов 196
 Эвксениты 258
 Эгиринавгит 97
 Эгирины 97
 Эйфель 156
 Экайод 22, 27, 289
 Экаманган 22, 27, 289
 Экацезий 22, 27, 289
 Экзотермические соединения 141
 Экология 283
 Эксельсиор 78
 Экскременты 138, 147
 Эктропия 228
 Электромагнитные земные поля 57
 Электроны, см. частицы
 Элементы химические 7, 9 — 12, 15, 16 — 19, 21, 23, 26, 27, 29 — 31, 36, 43, 52, 53, 56, 62, 83, 85
 Элементы химические № 43 24
 » » № 61 24
 » » № 75 24
 » » № 85 24
 » » № 87 24
 Элементы вадозные 62
 » инертные 28, 29, 34
 » радиоактивные 26, 28, 32, 37, 53, 62, 142, 233, 274, 287
 Элементы рассеянные 28, 31, 34, 62, 203
 Элементы редких земель 28, 33, 34, 62, 203
 Элементы фреатические 62
 » циклические 28, 30, 33, 34, 62, 203
 Элементы ювенильные 62
 Эманация 237
 » актиния 29
 » радия, см. нитон
 » тория 29, 233, 236, 238
 Эмболит 39
 Энафит 128, 312
 Энантиоморфизм 321
 Эндотермические соединения 141, 160, 279
 Энергетика жизни 226
 » земной планеты 223
 Энергия 52, 86, 89
 » атомная 87 — 89, 269, 279, 280
 Энергия внутренняя 86
 » геохимическая 174, 180, 187, 190, 229, 317, 323
 » земной поверхности 86
 » ископаемая 223
 » космическая 86, 89
 » лучистая 51, 224, 227, 229
 » планетная 86
 » радиоактивная 88
 » свободная 232
 » солнечная 86, 89, 104, 176, 223, 268
 Энергия термическая 89
 » тяготения 86, 88
 » ультра-фиолетовых лучей 89
 » химическая 51
 Энстатит 93, 128
 Энтропия 226, 228, 240
 Эоловы острова 156
 Эпидоты 80, 121, 251
 Эписеисмы 85
 Эпителий 132
 Эрбий 22, 24
 Этна 164
 Эфир 274
 Эшиниты 258
Южная Америка 291
 » Европа 138
Ядеит 311
 Ядро планеты 141
 Яйцо 165
 Янтарь 165
 Япония 162
 Яшма 71, 134

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ ЛАТИНСКИЙ.

Anthophysa vegetans 300
Aplysinidae 292

Bacillus calcis 214
Bacterium Manganicum 75

Carex hirta 75
Chaetopodes 324
Cocconeae 300
Crenothrix 75, 301
» **polyspora** 301

Brdveen 78
Euphorbiaceae 189

Hildebrandtia 78
Homo faber 231
» **sapiens** 231

Lemna 188
Leptothrix 75

Manihot utilisissima Pohe 189
Mare sporco 187

Musaceae 189
Musca carnaria 185

Navicula 140

Ophioglypha 324

Padina 300
Paramoecium 186
Pyxidicula 314

Santonay 271
Soufrière 296
Spongidae 292

Terra rossa 137
Trapa 300

Vibrio cholerae 187

Zostera 191, 192
Zostera maritima 74

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
От автора	3
<i>Очерк первый. Вместо введения.</i>	
1. Геохимия — наука XX стол.	5
2. Из прошлого геохимии	8
3. Геохимическая классификация химических элементов	21
<i>Очерк второй. Формы нахождения химических элементов.</i>	
1. Форма нахождения химических элементов	36
2. История иода и брома	38
3. Живые организмы в земной коре	41
4. История свободного кислорода	44
5. Живое вещество	47
6. Материя в состоянии рассеяния.	52
<i>Очерк третий. История марганца.</i>	
1. Оболочки земной коры	55
2. Геохимическая история марганца	63
3. Энергия геохимических циклических процессов	83
<i>Очерк четвертый. Кремний и силикаты в земной коре.</i>	
1. Обилие кремния в земной коре	90
2. Значение кремнезема	91
3. Простые и сложные соединения кремнезема	93
4. Алюминий и железо в земной коре	95
5. Алюмо- и феррикремневые ангидриды	97
6. Вода в земной коре	99
7. Коллоиды в земной коре	105
8. Вода и кремнезем	107
9. Вода и окислы железа и алюминия	109
10. Алюмокремневые гидраты. Глины	111
11. Каолиновое ядро и каолиновые алюмосиликаты	116
12. Поле существования каолинового ядра	121
13. Магний и кремний. Магний в земной коре	124
14. Вадозные и фреатические силикаты и алюмосиликаты магния	126

	Стр.
15. Кремний в живом веществе	132
16. Живое вещество и силикаты. Разложение каолинового ядра	135
17. Первичный геохимический круговой процесс кремния	141
 <i>Очерк пятый. Углерод и живое вещество в земной коре.</i>	
1. Углерод в земных оболочках и его значение	143
2. Устойчивость минералов углерода	146
3. Рассеяние соединений углерода	148
4. Первичные соединения углерода	153
5. Нефти и их образование	161
6. Первичный геохимический цикл углерода	176
7. Земные газы и живое вещество	177
8. Живое вещество и геохимическая история углерода	180
9. Распространение живого вещества в биосфере и геохимическое значение размножения организмов	181
10. Количество углерода в живом веществе	188
11. Количество жизни	193
12. Химическое строение живого вещества	195
13. Организмы — концентраторы химических элементов	201
14. Угольная кислота как единственный источник углерода в живом веществе	203
15. Динамическое равновесие угольной кислоты в атмосфере	206
16. Жизненный цикл	212
17. Неполная обратимость жизненного цикла	213
18. Цикл углекислого кальция	216
19. Принцип Реди	224
20. Энергия живого вещества и принцип Карно	226
21. Энергия биосферы и живое вещество	229
22. Геохимическая деятельность человечества	230
 <i>Очерк шестой. Химические радиоактивные элементы в земной коре.</i>	
1. Радиоактивные ряды радия, тория, и актиния	233
2. Радиоактивные химические элементы в земной коре	241
3. Несколько замечаний о минералах урана и тория	249
4. Торий в земной коре	251
5. Уран в земных оболочках	255
6. Три типа месторождений урана и тория	256
7. Рассеяние радиоактивных элементов	266
8. Гелий в земной коре	270
9. Земная кора и радиоактивные элементы	274
Примечания	281
Указатель авторов	339
Предметный указатель	348

В. Р. Вильямс
1978

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО РСФСР
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

В. Р. ВИЛЬЯМС
ИЗБРАННЫЕ СОЧИНЕНИЯ

Том I

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Ч. I. Происхождение материнских пород и элементы основных типов проявления почвообразовательного процесса.

Стр. 324.

Ц. 1 р. 75 к.

Том II

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Ч. II. Ледниковые наносы севера СССР. Тундровая зона. Почвенный покров лесолуговой зоны.

Стр. 448.

Ц. 2 р. 75 к.

К. Д. ГЛИНКА

ПОЧВЫ РОССИИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ
СТРАН

Стр. 348.

Ц. 3 р. 50 к.

Проф. С. А. ЗАХАРОВ

КРАТКИЙ КУРС ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
ПО ПОЧВОВЕДЕНИЮ

Издание, пересмотренное и дополненное

Допущено в качестве руководства для ВУЗ'ов и для с.-х. техникумов

Стр. 124.

Ц. 1 р. 50 к.

Проф. А. А. КРАСЮК

ПОЧВЫ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ В ПРИРОДЕ

Стр. 192.

Ц. 1 р. 75 к.

О. Г. ШУЛЬГИНА

МИКРООРГАНИЗМЫ ПОЧВЫ И ЕЕ
ПЛОДОРОДИЕ

Под редакцией и с предисловием акад. В. Л. Омелянского

Стр. 100.

Ц. 85 к.

1-50 M-45
[НО]
78
Цена 8/руб. — у

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО РСФСР
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

Ч. ЛИС
ЭКОНОМИКА И ГЕОЛОГИЯ

Перевод с английского М. А. Лихарева

Под редакцией и с предисловием акад. Ф. Левинсона-Лессинга

Стр. 313.

Ц. 2 р. 25 к.

Содержание: Предисловие к русскому изданию. I. Общераспространенные элементы, минералы, горные породы и их происхождение. II. Некоторые существенные черты геологии и классификации минеральных отложений. III. Минеральные богатства. IV. Вода как минеральное богатство. V. Обыкновенные горные породы и почвы, как минеральное богатство. VI. Группа минералов, служащих искусственным удобрением. VII. Источники энергии: уголь, нефть, газ (и асфальт). VIII. Минералы, применяемые при производстве железа и стали, % группа железных сплавов. IX. Руды меди, свинца и цинка. X. Золото, серебро и платина. XI. Различные металлические минералы. XII. Различные неметаллические минералы.

Приложение I. Международный рынок минерального сырья за последние годы и горные богатства СССР. Приложение II. Диаграммы. Приложение III. Таблицы.

А. К. МЕЙСТЕР
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛЕЗНЫЕ
ИСКОПАЕМЫЕ СССР

С 37 рисунками в тексте и 4 картами полезных ископаемых
Стр. 304; 4 карты. Ц. 6 р. 50 к.

Содержание: Предисловие. Введение. Железо. Медь. Платина. Золото. Серебро, свинец и цинк. Марганец. Хром. Молибден. Никель. Кобальт. Вольфрам. Олово. Сурьма. Ртуть. Мышьяк. Висмут. Алюминий. Ванадий. Радиоактивные руды. Общий обзор главнейших районов СССР.

Приложение. Неметаллические ископаемые: Серный колчедан. Плавиковый шпат. Слюда. Асбест. Карты полезных ископаемых СССР.

Продажа во всех магазинах и отделениях Госиздата

JHC

78