



Александр Ферсман

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ГЕОХИМИЯ

ХИМИЯ ЗЕМЛИ



# Александр Евгеньевич Ферсман

## Занимательная геохимия. Химия земли

© Ферсман А. Е., наследники, 2016

© Предисловие, примечания, оформление. ООО «Издательство «Пальмира», ПАО «Т8 Издательские Технологии», 2016

### ***Предисловие***

Уважаемые читатели! Перед вами – книга «Занимательная геохимия», принадлежащая перу выдающегося российского ученого-минералога и организатора науки академика А. Е. Ферсмана. Она удивительна во многих отношениях. Написанная в научно-популярном жанре, книга по замыслу автора предназначена скорее для молодых людей, выбирающих путь в жизни, нежели для взрослых, тем более специалистов в смежных геологических областях. Но ведь известно, что

несколько поколений взрослых людей, включая состоявшихся геологов разных специальностей, зачитывались этой книгой. Мне известны даже те, кто брал ее в геологические экспедиции. И это многого стоит, «поскольку места мало в рюкзаке», как поется в известной песне!

Чтобы писать научно-популярную книгу, нужно быть специалистом в данной области. Ферсман – один из создателей геохимии, наряду с академиком В. И. Вернадским, американцем Ф. У. Кларком, норвежцем В. М. Гольдшмидтом и некоторыми другими учеными, заложившими основы этой науки в начале XX века. О ней можно рассказать профессионально, но скучно. Такие лекции и литература нам известны. К счастью, А. Е. Ферсман – мастер им же созданного неповторимого стиля, в котором нет профессорского менторства. Научная популяризация сочетается в нем с интригой путешествия за географические и научные горизонты, смелость прогнозов – сродни жюль-верновской, а прозорливость в ряде случаев доказана временем.

А. Е. Ферсман – мастер образного, но точного слова. Без художественных излишеств он создает напряженную, динамичную картину отношений исследователя и природы. «В этой постоянной смене химических процессов, в сложной цепи природных явлений минералог и геохимик схватывает лишь отдельные разрозненные странички, отдельные звенья... Из отрывков он воссоздает целые страницы, из отдельных страниц он составляет ту великую книгу химии Земли, которая рассказывает нам от начала до конца, как странствует атом в природе, с кем он делит общие пути, где он находит свою спокойную или беспокойную смерть в виде устойчивых кристаллов, где рассеянные атомы вечно меняют своих спутников, то вновь переходя в раствор, то бесконечно рассеиваясь в великом просторе природы».

Впрочем, в описаниях геохимических циклов, круговоротов, коловращений химических элементов А. Е. Ферсман всегда говорит о живом веществе, в том числе обо всем человечестве как органической (в прямом и переносном смысле) части природы, преобразующее воздействие которой на лик Земли сравнимо с геологическими силами. В этом ощущается влияние ноосферной концепции В. И. Вернадского, воспринятой А. Е. Ферсманом. По-видимому, из нее следует его отчасти научно обоснованная, отчасти романтическая убежденность в неограниченных возможностях познания и разумного преобразования природы ради благополучия человечества. Отсюда же – его неоднократные призывы к молодежи, активно ориентирующие ее энергию в практическую область.

«Мы хотим... подчинить себе весь атом, подчинить его своей воле, воле торжествующего человека, превращающего все грозные и вредные силы природы в полезные. Мы хотим всю природу, всю менделеевскую таблицу элементов положить к ногам трудящегося человечества. Вот смысл и задача нашей геохимической работы, вот для чего мы хотим понять и добыть атом. Этими словами мы кончаем наш длинный рассказ.

Но разве, друзья, может быть конец науке или учению? Будем с вами совершенно откровенны. Здесь, в самом конце нашей книги, мы, в сущности, оказались в начале наших знаний, и даже если несколько раз перечитаем эту книгу... попытаемся запомнить поведение отдельных элементов, все же должны будем сознаться, что мы только в самом начале». Со времени первого издания «Занимательной геохимии» прошло 60 лет. Многие изменилось в мире, но что-то важное, вдохновлявшее А. Е. Ферсмана на бесконечные экспедиции по огромной стране, создание научных институтов, лабораторий и минералогических заповедников, написание научных и научно-популярных книг, выступления на бесчисленных собраниях, сохранилось и в нас. Думаю, это глубокое понимание своего атомарного места в свободной геохимической и ноосферной эволюции Космоса. Этим пониманием проникнута книга Ферсмана, и именно оно не позволяет ей устаревать, ибо «Занимательная геохимия» рассказывает о вещах изначальных. *Юрий Войтеховский*

13.09.2015

## **Введение**

Несколько лет назад я написал «Занимательную минералогию». Ко мне приходили десятки, сотни писем от учащихся, рабочих и различных специалистов. В этих письмах я видел столько неподдельного, живого увлечения камнем, его исследованием и историей его использования! В некоторых обращениях детей было вместе с тем так много молодого задора, смелости, бодрости, энергии... Меня увлекли эти письма, и я решил написать вторую книгу для юношества, для нашей будущей смены.

Последние годы я работал в другой области, гораздо более трудной, гораздо более отвлекенной, – моя мысль увлекла меня в замечательный мир – мир бесконечно малых, ничтожных крупинок, из которых сложена вся природа и сам человек.

По окончании университета мне пришлось принимать участие в создании новой науки, которую мы называем *геохимией*. Мы создавали ее, не сидя за листом бумаги в удобном кабинете, – эта наука рождалась из множества точных наблюдений, опытов, измерений; она рождалась в борьбе за новое понимание нашей жизни и природы; и прекрасны были те минуты, когда завершались отдельные новые главы этой науки будущего.

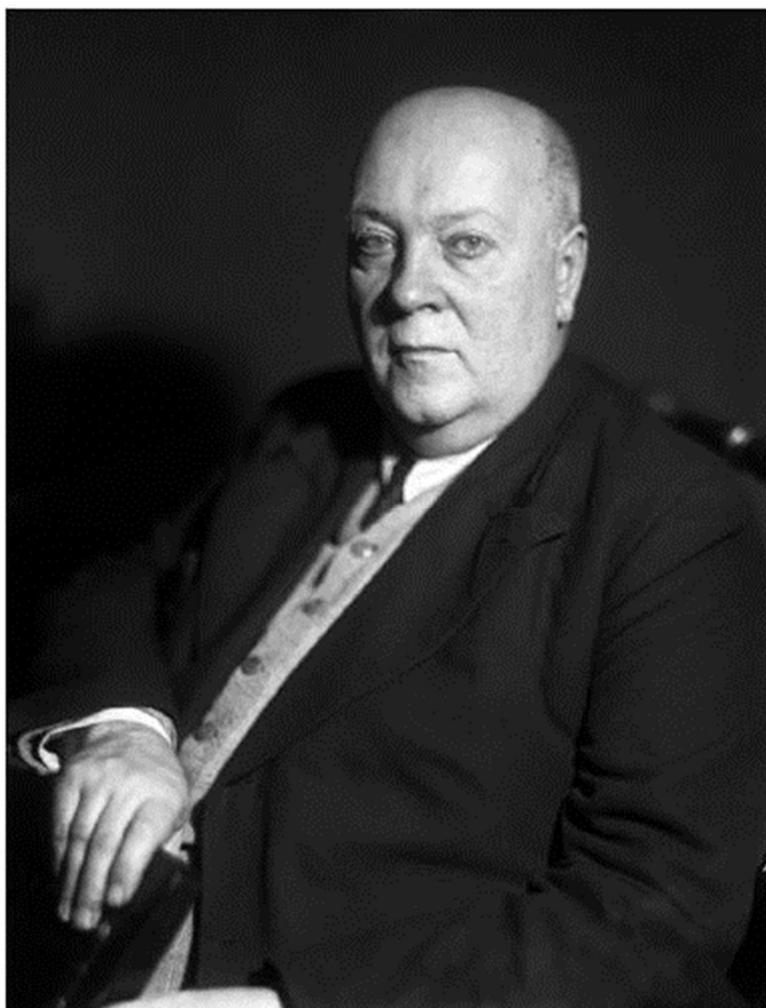
Что же занимательного я буду рассказывать о геохимии, да и что это за наука? Почему не просто химия, а *геохимия*? И почему о ней пишет не химик, а геолог, минералог, кристаллограф?

Ответ на этот вопрос читатель получит, в сущности, не в первом очерке; нет, там будет сказано о многом, но кратко. Поймет глубину и занимательность геохимии только тот, кто дочитает книгу до конца.

Тогда он скажет: «Вот что такое геохимия, какая интересная, но трудная наука! Как мало я еще знаю и химию, и геологию, да и минералогию, чтобы полностью понять ее!» Но понять ее стоит, так как будущее геохимии значительнее, чем это предполагают: именно она вместе с физикой и химией подчинит воле человека величайшие запасы энергии и вещества.

Прежде чем закончить введение, я хочу обратиться к читателям с несколькими советами, как читать эту книгу. Ведь мало сказать, что надо читать, – часто еще гораздо важнее сказать, как надо читать, каким образом надо изучать книги и научиться извлекать из них больше пользы. Одни книги читаются запоем, когда интересный рассказ увлекает вас и вы не можете оторваться от него, пока не прочтете последнюю страницу. Так читают, например, занимательные приключенческие романы. Другие книги надо изучать: в них читатель найдет изложение отдельных наук, научных проблем или научных данных, описание явлений природы, сообщение о научных выводах. Такие книги нужно читать, вникая в каждое слово, не пропуская ни отдельных страниц, ни даже строк или слов.

Наша же книга не увлекательный роман и не научный трактат. Она построена по особому плану. Ее четыре части одна за другой переходят от общих вопросов физики и химии к вопросам геохимии и ее будущего. Читатель, который мало знаком с основами этих наук, должен читать книгу неторопливо и внимательно, быть может, даже перечитывать заинтересовавшие его или трудные страницы. Но если читатель знает физику и химию, он может перескакивать через отдельные очерки, которые ему знакомы: автор старался каждый очерк сделать самостоятельным целым, по возможности не зависимым от других. Книга пригодна и для углубления знаний по химии или геологии.



А. Е. Ферсман

Учащимся очень полезно читать отдельные главы во время прохождения общего курса химии, так как каждая из этих глав может в значительной части иллюстрировать те или иные сухие страницы учебника химии.

Изучая металлоиды, можно попутно прочесть главу о фосфоре и сере; изучая черные металлы – познакомиться с главами о железе и о ванадии.

При изучении геологии точно так же надо было бы пользоваться соответственными главами, освещающими большие химические проблемы распространения элементов в земной коре. Особый интерес в этом отношении представляют главы, посвященные описанию земной коры, и главным образом часть третья – «История атома в природе».

Те, кто изучает химию, увидят, что в своем изложении я коснулся лишь немногих химических элементов: только пятнадцать элементов описаны сколько-нибудь детально, но я и не стремился дать полную химическую характеристику и историю всех элементов в мироздании, в глубинах земной коры, на земной поверхности и в руках человека.

Я хотел осветить только отдельные, наиболее существенные черты «поведения» самых обычных и полезных элементов, живущих вокруг нас своей сложной химической жизнью среди незаметных и постоянных химических процессов земли. Я уверен, что можно написать много страниц о каждом химическом элементе. Может быть, читателю придет желание самому попытаться написать историю какого-либо элемента, о котором я ничего не сказал. Мне кажется, что это была бы полезная практическая задача, и если кто-либо, заинтересовавшись, например, куском металлического хрома, его судьбой, его месторождениями и ролью в промышленности, попытался бы пойти по этому пути, то он мог бы написать ряд интересных страниц из истории этого элемента и осветить поведение этого атома из семьи железа.

Я могу только посоветовать внимательным читателям, изучившим нашу книгу и интересующимся проблемами широкого анализа природы, попытаться выполнить такую задачу и продолжить те страницы, которые написаны мной о самых важных элементах земли.

## **Атом**

### ***Что такое геохимия***

Что такое геохимия? – это первый вопрос, на который нужно ответить, чтобы понять все то, о чем мы будем говорить в нашей книге.

Мы знаем, что геология – наука, которая учит, что представляет собой земля, земная кора, какова ее история, как земля изменяется, как образуются горы, реки, моря, как возникают вулканы и как на дне океана медленно растут осадки илов и песков.

Нам понятна и минералогия, которая изучает отдельные минералы.

В своей книге «Занимательная минералогия» я писал: «...Минерал есть природное соединение химических элементов, образовавшееся естественным путем, без вмешательства человека. Это своего рода здание, построенное из определенных кирпичиков в различных количествах, но не беспорядочная куча этих кирпичей, а именно постройка по определенным законам природы. Мы хорошо можем понять, что из одних и тех же кирпичей, даже взятых в одном и том же количестве, можно построить разные здания. Так, один и тот же минерал может встречаться в природе в самых различных видах, хотя по существу он остается все тем же химическим соединением.

Мы насчитываем около ста сортов этих кирпичей, из которых построена вся окружающая нас природа.

К этим химическим элементам, например, относятся: газы – кислород, азот, водород; металлы – натрий, магний, железо, ртуть, золото или такие вещества, как кремний, хлор, бром и другие.

Различные сочетания элементов в различных количествах и дают нам то, что мы называем минералом: например, хлор и натрий дают поваренную соль, кислород в двойном количестве с кремнием дают кремнезем или кварц и так далее.

...Итак, из сочетаний различных химических элементов построено в земле три тысячи разных минералов (кварц, соль, полевой шпат и другие), а эти минералы, накапливаясь вместе, образуют то, что мы называем горной породой (например, гранит, известняк, базальт, песок и так далее)<sup>[1]</sup>.

Та наука, которая изучает минералы, называется минералогией, описывающая горные породы – петрографией, а изучающая самые кирпичики и их странствование в природе – геохимией...»

Геохимия – еще молодая наука, которая выдвинулась только за последние десятки лет и главным образом благодаря работам советских ученых.

Ее задачи заключаются в том, чтобы проследить и выяснить судьбу и поведение в земле химических элементов<sup>[2]</sup>, лежащих в основе окружающей нас природы, которые, будучи расположены в определенном порядке, составляют замечательную таблицу Д. И. Менделеева.

Основной единицей исследований геохимии является химический элемент и его атом.

В каждой клетке таблицы Д. И. Менделеева, как правило, помещается один химический элемент – атом, и каждая клетка имеет очередной порядковый номер. Первый номер имеет самый легкий элемент – водород, а один из самых тяжелых химических элементов в земной коре, 92-й, называется ураном, и он тяжелее водорода в 238 раз.

Атомы чрезвычайно малы, и если представить их в виде шариков, то диаметр атома составит одну десятиллионную долю миллиметра. Но атомы совершенно не похожи на сплошные шарики и образуют более сложную систему, состоящую из ядра атома, вокруг которого движется то или иное, разное у различных сортов атомов, число электронов.

Таким образом, по своему строению атомы скорее напоминают солнечные системы сверхмикроскопических размеров с центральным Солнцем – ядром и движущимися вокруг него планетами – электронами.

У разных сортов атомов – химических элементов – число электронов различно. Благодаря этому они отличаются друг от друга по своим химическим свойствам. Атомы, обмениваясь между собой своими электронами, входят в соединения – образуют молекулы.

На менделеевской таблице намечается ряд естественных семейств элементов, которые встречаются вместе не только на таблице, но и в самой природе.

Величие системы Менделеева и заключается именно в том, что это – не теоретическая схема, а выражение тех природных взаимоотношений, которые существуют между отдельными элементами и которые определяют их сходство, их различие, их перемещения в земле.

Словом, таблица Менделеева есть вместе с тем и таблица геохимическая, которая, как надежный компас, помогает геохимикам в их поисковых работах.

Новые идеи зарождаются всюду, где вдумчивая мысль ученого пытается применить закон Менделеева к анализу природных явлений.

Но что же такое геохимия? Что представляет собой эта новая наука, привлекая за последние годы так много исследователей?

Как показывает ее название, геохимия изучает химические процессы, происходящие в самой земле.

Химические элементы как самостоятельные единицы природы перемещаются, странствуют, соединяются – словом, как мы говорим, мигрируют в земной коре; законы сочетаний элементов и минералов при различных давлениях и температурах в разных участках земной коры, законы участия элементов в построении почвы, горных пород и живого вещества и законы использования вещества самим человеком и представляют те проблемы, которыми занимается современная геохимия.

Некоторые химические элементы (например, скандий, гафний) не обладают способностью образовывать скопления и иногда настолько рассеяны, что в породе находится лишь стомиллионная доля процента определенного химического элемента.

Такие элементы можно было бы назвать сверхрассеянными, и их мы добываем только в том случае, если они представляют какую-либо особую ценность для практики.

Сейчас мы предполагаем, что в каждом кубическом метре любой горной породы можно найти все элементы менделеевской таблицы, если только наши методы анализа будут достаточно совершенны. Не надо забывать, что новые методы в истории науки имеют еще большее значение, чем новые теории.

Другие элементы (например, свинец, железо), наоборот, в своих постоянных перемещениях имеют как бы ряд остановок, образуя такие соединения, в которых они легко накапливаются, долго сохраняются и, независимо от сложных изменений земной коры в ее геологической истории, сохраняют формы скоплений, образуют крупные концентрации и оказываются доступными для промышленного использования.

Геохимия изучает законы распределения и миграции химических элементов не только в мироздании в целом, но и в определенных геологических условиях, в определенных районах нашей страны, намечая пути для поисков и разведок полезных ископаемых.

Таким образом, глубокие теоретические установки современной геохимии все ближе и ближе смыкаются с проблемами практики, и геохимия стремится на основании ряда общих положений показать, где может встречаться какой-либо химический элемент, где и при каких условиях можно встретить скопления, например, ванадия или вольфрама, какие металлы «охотнее» находятся вместе, как, например, барий и калий, какие будут «избегать» друг друга, как, например, теллур и тантал.

Геохимия изучает поведение каждого элемента, но, чтобы судить об этом поведении, она должна хорошо знать свойства элемента, его своеобразие, склонность соединяться с другими элементами или, наоборот, отделяться от них.

Геохимик, таким образом, превращается в поисковика-разведчика, он подсказывает те места земной коры, где можно найти железные и марганцевые руды, сообщает, где среди змеевиков можно найти месторождения платины, и объясняет – почему; он направляет геологов на поиски мышьяка и сурьмы в молодых геологических породах и горных хребтах и предскажет неудачу, если будут искать эти металлы там, где условия для их концентрации отсутствуют.

Но все это возможно, когда хорошо изучено «поведение» химического элемента, точно так же, как, изучив поведение человека в жизни, можно не только учесть все его поступки, но можно предсказать, как он будет себя вести при различных обстоятельствах.

Вот в чем заключается огромное практическое значение этой новой науки!

Таким образом, геохимия идет рука об руку с геологическими и химическими науками.

\* \* \*

Я не хочу затруднять вас массой фактов, примеров, расчетов и не берусь научить вас всем премудростям геохимии. Нет, я хочу только, чтобы вы увлеклись этой новой наукой, родившейся совсем недавно, чтобы вы сами убедились из отдельных очерков странствований элементов по всему миру, что геохимия – еще молодая наука, что перед ней открываются широчайшие перспективы в будущем, но что это будущее она должна завоевать.

В мире научных идей, как и всюду в жизни, не сразу побеждают прогресс и истина: нужна борьба за них, мобилизация всех сил, нужна большая

целеустремленность и энергия, большая уверенность в своей правоте и вера в победу.

Побеждает не отвлеченная, бесплодная, неактивная мысль, а только мысль боевая, горящая огнем новых исканий, мысль, тесно спаянная с самой жизнью и ее задачами.

Необъятное поле для исследований лежит перед химиками земли в нашей стране.

Нам нужно еще огромное количество фактов, и они нам нужны, по словам великого русского ученого Ивана Петровича Павлова, так же, как нужен воздух, чтобы поддерживать крылья птицы.

Но птица и самолет держатся в воздухе не только воздушной стихией, а прежде всего своим собственным движением вперед и выше.

Этим же движением вперед и выше держится всякая наука, она держится упорной творческой работой, огнем смелых исканий, соединенных одновременно с холодным и трезвым анализом своих достижений.

Мы неминуемо идем к полному вовлечению в промышленность всех химических элементов, и даже искусственно получаемых<sup>[3]</sup>.

Поэтому современное значение геохимических исследований по распределению химических элементов в земной коре еще более возрастает.

Оно обязывает нас искать законы этого распределения, и у нас имеются к тому все возможности.

К молодым кадрам призыв – вперед, за освоение недр нашей Родины!

## ***Мир невидимого. Атом и химический элемент***

Дайте руку, читатель. Я поведу вас в мир малых величин, которых в обыденной жизни мы не замечаем. Вот лаборатория уменьшений и увеличений. Зайдем в нее. Нас уже ждут: этот еще не старый человек в рабочем костюме, такой обыкновенный на вид, – знаменитый изобретатель. Послушаем его.

«Зайдемте в кабину, – она сделана из материала, проницаемого для лучей любой длины волны. Я поверну рычаг вправо, и мы начнем уменьшаться. Процесс уменьшения, не очень приятный, идет точно по секундомеру, за каждые четыре минуты мы уменьшаемся в тысячу раз. Мы остановимся через четыре минуты, выйдем из кабины и увидим окружающий мир таким, каким он виден в лучшие микроскопы. Затем вернемся в кабину и испытаем уменьшение еще в тысячу раз».

Итак, мы повернули рычаг...

Наш рост уменьшился, мы стали величиной с муравья... Мы иначе стали слышать, так как наше ухо перестало реагировать на воздушные волны... Лишь какие-то шумы, гудение, треск и шелесты доходят до нашего сознания. Но способность видеть осталась, так как в природе существуют рентгеновские лучи с длиной волны в тысячу раз меньшей, чем световые. Мы вышли из кабины уменьшенными в тысячу раз... Вид предметов изменился неожиданным образом: большинство тел стали очень прозрачными, и даже металлы превратились в ярко окрашенные, похожие на цветные стекла тела... Но зато стекло, смола, янтарь потемнели и стали походить на металлы.

Мы видим клетки растений, заполненные пульсирующим соком и зернами крахмала, и, при желании, можем просунуть руку в устье листа; в капле крови плавают кровяные тельца величиной с копейку, бактерии туберкулеза имеют вид изогнутого гвоздя без шляпки... Бактерии холеры походят на мелкий боб с быстро двигающимся хвостиком... Но молекул не видно, и только непрерывное дрожание стенок кабины да легкое покалывание лица воздухом, как будто навстречу нам дует ветер с пылью, напоминают нам о том, что близок предел делимости материи...

Мы снова вернулись в кабину и перевели рычаг еще на одно деление. Все потемнело, наша кабина задрожала, как при землетрясении.

Когда мы пришли в себя, кабина продолжала дрожать, и казалось, кругом нас бушует буря с градом: что-то непрерывно, как горох, сыпалось на нас; можно было подумать, что нас обстреливают из тысячи пулеметов...

Наш проводник неожиданно заговорил:

«Выйти нельзя. Мы уменьшились в миллион раз, и рост наш теперь измеряется тысячными долями миллиметра: он равен всего полутора микронам.

Толщина наших волос сейчас равна одной стомиллионной сантиметра; такая величина называется ангстрем и служит для измерения молекул и атомов. Поперечник молекул газов воздуха равен примерно ангстрему. Эти молекулы носятся с огромной скоростью и бомбардируют нашу кабину.

Еще при первом уменьшении мы заметили, что ветер бил нам в лицо как бы пылью: это было влияние отдельных молекул. Сейчас мы стали меньше, и их движение нам столь же опасно, как человеку, когда в него выстрелят песком.

Посмотрите сквозь окно – вы видите пылинку в микрон в поперечнике, то есть почти такую, как и мы сами. Как она пляшет во все стороны от неравномерных ударов вихря молекул! К сожалению, мы рассмотреть их не можем: они слишком быстро двигаются... Но пора возвращаться:

ультракороткие волны, в лучах которых мы рассматривали молекулы, вредны для наших глаз».

С этими словами наш проводник повернул рычаг.

Наше путешествие закончилось, конечно, оно было только воображаемое. Но картина, которую мы нарисовали, близка к действительности<sup>[4]</sup>.

Опыт показывает нам, что, как бы ни совершенствовались методы анализа, в результате анализа сложных тел мы приходим к ряду простых веществ, которые не могут быть химически разложены на еще более простые составные части.

Вот эти, далее не поддающиеся разделению, простые тела, из которых состоят все окружающие нас тела природы, мы называем химическими элементами.

Постоянно соприкасаясь с окружающими нас телами природы, живыми и мертвыми, твердыми, жидкими и газообразными, человек пришел к одному из важнейших своих обобщений: к понятию о веществе, о материи. Каковы свойства этой материи, каково ее строение? Этот вопрос, который должен поставить перед собой всякий изучающий природу.

И первый ответ, который дает нам непосредственное ощущение, – это видимая непрерывность вещества. Но это впечатление – обман наших чувств. Пользуясь микроскопом, мы часто открываем в веществе пористость, то есть наличие мелких пустот, не видимых невооруженным глазом.

Но и для таких веществ, в которых, казалось бы, принципиально не может быть пор, как вода, спирт и другие жидкости, а также для газов мы должны признать наличие промежутков между частицами вещества, иначе нам нельзя было бы понять, почему вещества могут сжиматься при давлении, почему они могут расширяться при нагревании.

Всякая материя зерниста. Самые малые зернышки вещества получили название атомов или молекул. Удалось измерить, например, что у воды сами молекулы занимают всего лишь около трети или четверти пространства. Остальное приходится на поры.

Сейчас мы знаем, что при сближении атомов возникают силы отталкивания и атомы не могут слиться друг с другом. Около каждого атома можно описать «сферу непроницаемости», за которую при обычных химических реакциях не может проникнуть другая материя. Поэтому атомы вместе с этой сферой можно рассматривать как упругие шарики, непроницаемые друг для друга. Каждый элемент имеет сферу непроницаемости, радиус которой выражается в ангстремах. Меньше всего этот радиус у углерода – 0,18 ангстрема и у кремния – 0,41 ангстрема, радиус у железа – 0,67 и 0,79, у кальция – 1,01, у кислорода радиус сферы непроницаемости большей – 1,32 ангстрема (см. рисунок

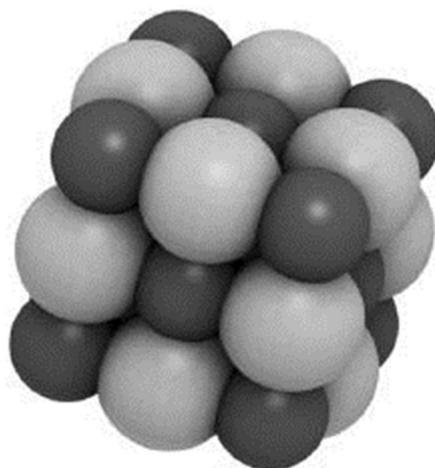
на странице 27, где элементы изображены в виде кружков, пропорциональных размерам радиусов их сфер).

Но если мы будем укладывать шары в какой-либо ящик, то беспорядочно расположенные шары займут больше места, чем при правильной укладке. Та из укладок, которая займет наименьший объем, называется плотнейшей упаковкой. Ее легко получить, например, при таком опыте: взяв несколько десятков стальных шариков (от шарикоподшипника), положить их на блюдечко и легко постукивать. Благодаря тому что все шарики будут стремиться к центру блюдечка, они будут теснить друг друга и скоро расположатся рядами, образующими между собой угол в  $60^\circ$ . Снаружи они расположатся по сторонам правильного шестиугольника. Это и будет плотнейшая упаковка шаров одного размера на плоскости<sup>[5]</sup>.

Так уложены, например, атомы многих металлов – меди, золота и других.

Если шары неодинаковые, например двух резко различающихся размеров, то часто случается, что шары большего размера (например, хлор – у кристаллов поваренной соли) дают плотнейшую упаковку, а меньший атом располагается в промежутках между крупными шарами.

Таким образом, у поваренной соли, или минерала галита – NaCl, один атом натрия окружен с шести сторон атомами хлора, а каждый атом хлора окружен с шести сторон атомами натрия. При этих условиях силы притяжения между ионами натрия и хлора оказываются наибольшими.



Модель структуры каменной соли – NaCl. Атомы показаны в виде шаров (Na – черные, Cl – серые)

Итак, окружающие нас тела, независимо от степени их сложности, состоят из сочетания отдельных мельчайших, невидимых простым глазом частиц, или атомов, наподобие того, как большое красивое здание бывает построено из отдельных небольших кирпичей.

Мысль об этом зародилась в глубокой древности, и понятие «атом» (по-гречески – «неделимый») мы встречаем еще у греческих философов-материалистов Левкиппа и Демокрита за шестьсот – четыреста лет до нашей эры. По современным представлениям, начало которым было положено еще в девятнадцатом столетии, химический элемент в свободном состоянии в форме простого тела состоит из совокупности однородных атомов, далее не делимых без потери химических качеств и особенностей, присущих данному элементу.

В настоящее время ученым известно 100 различных элементов, а значит, и 100 видов различных атомов<sup>[6]</sup>.

Из сочетаний этих 100 видов атомов построены все известные нам тела природы (в том числе и искусственно созданные соединения двенадцати элементов, не существующих в природе).

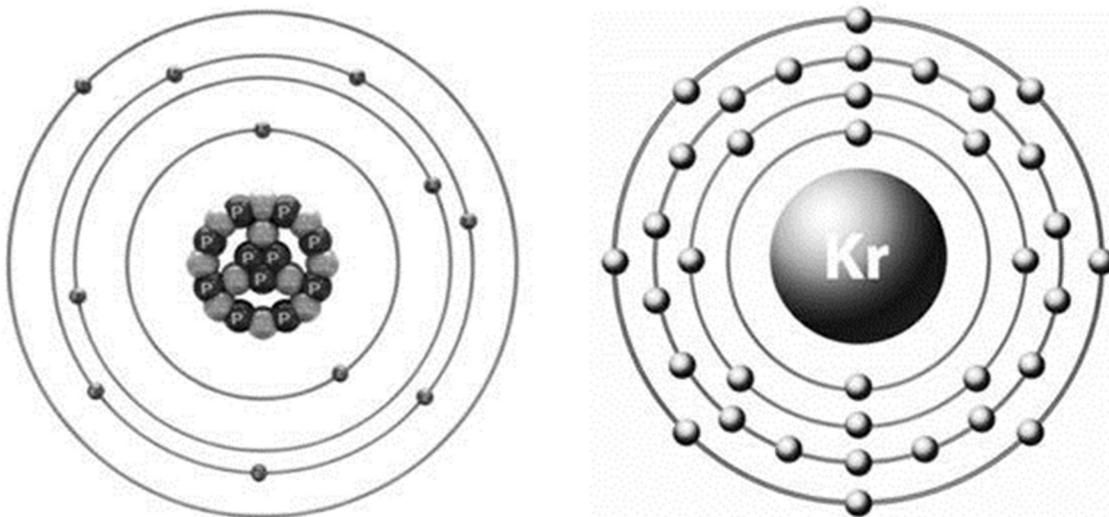
Атомы одного и того же элемента, так же как и атомы различных элементов, сочетаясь друг с другом по два и более, могут образовывать молекулы различных веществ. Атомы и молекулы, соединяясь друг с другом, строят все многообразие природных тел. Разнообразие комбинаций атомов не так уж значительно, так как только некоторые обладают устойчивостью, но размеры их незначительны, поэтому число атомов и молекул очень велико. Например, если взять 18 граммов воды, так называемую грамм-молекулу, то в этом количестве воды будет содержаться  $6.02 \times 10^{23}$  молекул воды.

Число это колоссально, оно во много тысяч раз больше, чем число зерен ржи и пшеницы, выросших на земном шаре за все время существования растительной жизни.

Для того чтобы составить себе представление о размере молекулы, сравним ее с самым мельчайшим из живых организмов – бактерией, видимой лишь в микроскоп при увеличении около тысячи раз. Размер самых маленьких бактерий равен двум десятитысячным долям миллиметра. Это в тысячу раз больше размера молекулы воды, а в самой маленькой бактерии содержится более двух миллиардов атомов, то есть больше, чем живет людей на земном шаре.

Цепочка из молекул воды, содержащихся в  $1 \text{ см}^3$ , могла бы более тридцати раз протянуться от Земли до Солнца и обратно, так как ее длина равна 9 400 000 000 км.

Первоначально атом представляли себе в форме мельчайшей, далее не делимой частицы, однако при более близком изучении, по мере усовершенствования и уточнения наших методов исследования сам атом оказался весьма сложным образованием. Природа атома впервые проявилась наглядно, когда люди познакомились с явлениями радиоактивности и стали их изучать.



Структура атома и порядковый номер элемента. Строение атомов натрия и криптона

Оказалось, что атом каждого химического элемента, несмотря на свои ничтожные размеры (поперечник его равен одной стомиллионной части сантиметра), представляет собою весьма сложное образование, построенное наподобие нашей солнечной системы.

Атом состоит из ядра (поперечник его в сто тысяч раз меньше, чем поперечник атома, и меньше одной триллионной части сантиметра), в котором сосредоточена практически вся масса атома.

Ядро атома несет положительный электрический заряд. Количество положительных частиц в ядре возрастает по мере перехода от атомов легких химических элементов к тяжелым и численно равно порядковому номеру клетки периодической таблицы, которую занимает элемент.

Вокруг ядра на различных расстояниях вращаются электроны. Число электронов равно числу положительных зарядов ядра, так что атом в целом есть образование электрически нейтральное.

Ядра атомов всех химических элементов построены из двух простейших частиц – протона, или ядра атома водорода, и нейтрона.

Протон имеет массу, почти равную массе атома водорода, и несет один положительный заряд. Нейтрон – материальная частица, имеющая такую же массу, как протон, но лишенная какого-либо электрического заряда.

Протоны и нейтроны в ядрах атомов сцеплены настолько прочно, что при всех химических реакциях ядра атомов совершенно устойчивы и остаются неизменными.

Химические свойства элементов зависят от строения и свойств наружной электронной оболочки атомов, от способности их отдавать или присоединять электроны. Строение же ядра атома на химических

свойствах атома почти не сказывается. Поэтому атомы, обладающие одним и тем же числом наружных электронов, даже если структура ядер, масса их или атомный вес различны, обладают близкими химическими свойствами и образуют родственные группы атомов, как, например, хлор, бром, йод и тому подобные группы.

На рисунках схематически показаны различные модели строения атомов, из которых видно, как усложняются орбиты электронов по мере увеличения атомного веса.

## ***Атомы вокруг нас***

Посмотрите на три прекрасных снимка, которые мы помещаем в этой главе.

Дивный вид горного озера, синяя гладь воды, вокруг скалы известняков, темно-зеленые пятна одиноких деревьев, а над всем яркое южное солнце.

Шумный, окутанный дымом и паром, пылающий огнями металлургический завод – длинными змеями тянутся к нему поезда с рудой, углем, флюсами, кирпичом, а от него они увозят сотни тонн рельсов, болванок, отливок, проката в новые центры промышленности.

Современные нарядные автомобили – сверкают покрытые лаком крылья, рокочут мощные моторы, тихо раздаётся пение радиоприемника. Из трех тысяч деталей собрана эта дивная машина на длинном конвейере завода, и преодолеть сотни тысяч километров ей нипочем!

Посмотрите на эти три картинки и откровенно скажите мне, о чем вы подумали, посмотрев на них, что вас в них заинтересовало, о чем захотелось спросить.

Я угадываю ваши мысли и ваши вопросы: ведь вы живете в век техники и промышленности, ваши интересы там, где машина рождает силу, а сила рождает машину.

Но я хочу рассказать вам совсем о другом, чтобы вы иными глазами посмотрели на наши картинки. Слушайте же!

\* \* \*

«Сколько замечательных геологических проблем таится в этом озере! – скажет мне геолог. – Как образовался этот огромный и глубокий провал, что заперло эти синие воды в отвесных скалах таджикских хребтов? Ведь от вершин гор до дна озера две-три тысячи метров: какие могучие силы смогли поднять и смять пласты горных пород?»

«Какие чудесные известняки образуют скалы и горы! – скажет минералог. – Как много десятков и сотен тысячелетий должно было

пройти, чтобы накопился на дне океанов такой мощный осадок из ила, раковин, скорлупок, панцирей и сжался бы в плотную известковую породу, почти в мрамор! Возьмите обычную минералогическую лупу, которая увеличивает в десять раз; вы с трудом различите при ее помощи отдельные блестящие кристаллики известкового шпата, из которых сложена порода».



Горное озеро в Таджикистане

«Какая белизна и чистота у этого известняка! – перебьет его химик-технолог. – Ведь это великолепное сырье для цементной промышленности и для обжига на известь, – это почти чистый углекислый кальций, соединение атомов кальция, кислорода и угольной кислоты. Посмотрите, я растворю его в слабой кислоте, кальций растворится, а угольная кислота<sup>[7]</sup> с шипением улетит в воздух».

«Но можно проделать и более точные опыты, – скажет геохимик. – С помощью спектроскопа можно доказать, что в этом известняке есть и другие атомы: стронция и бария, алюминия и кремния. А если сделать сверхточный анализ и попытаться определить самые редкие атомы, которых содержится меньше одной миллионной доли процента, то можно будет открыть в нем даже цинк и свинец. И не думайте, что это особое свойство нашего известняка: даже в самом чистом мраморе, какой есть на свете, опытные химики насчитывают 35 видов разных атомов.

Ведь в каждом кубическом метре камня – гранита или базальта, известняка или глины – можно будет найти все элементы менделеевской таблицы, только некоторых из них будет в триллион раз меньше, чем кальция или углерода».

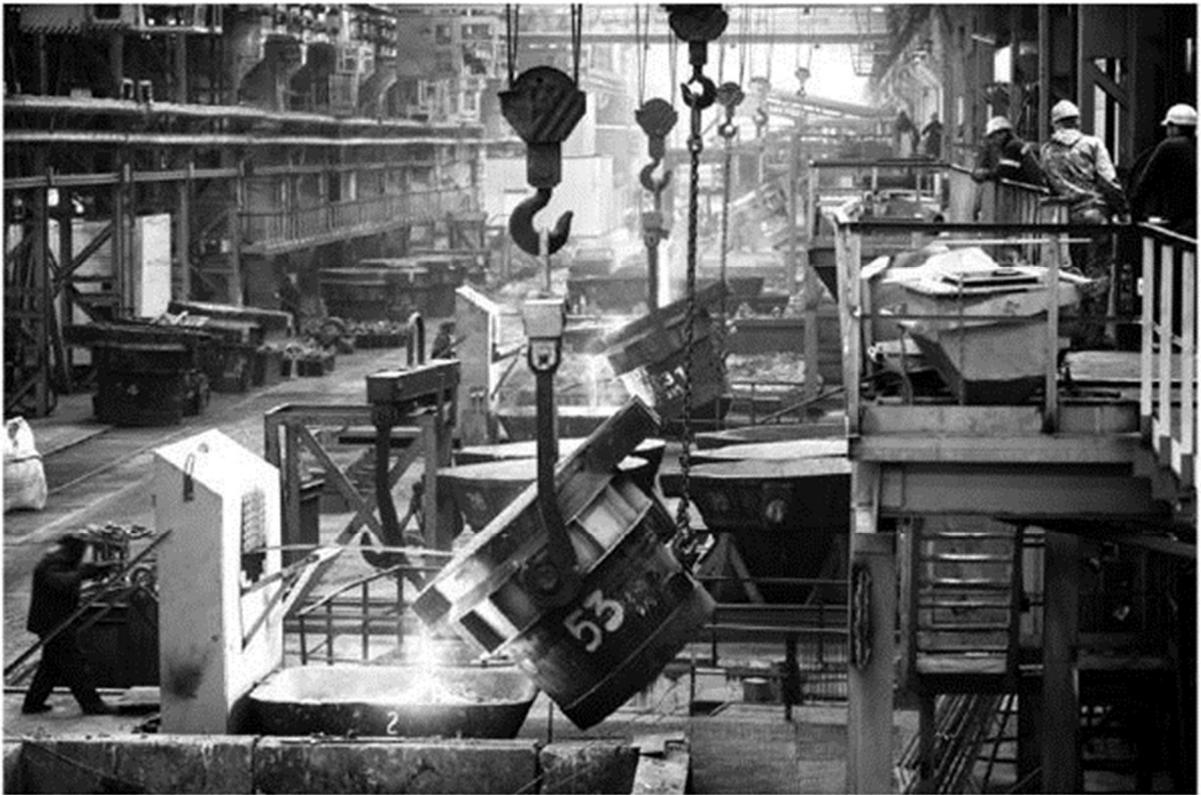
Геолог, минералог, химик и геохимик так увлекут нас своими рассказами, что вместо простого сероватого известняка перед нами встанут скалы какого-то загадочного камня; и захочется глубже проникнуть в его природу и раскрыть тайну его бытия и происхождения<sup>[8]</sup>.

\* \* \*

Теперь обратимся к заводу. Какие странные, необычные по масштабу и по форме здания! Гигантские башни-колодцы, наполненные рудой, углем, камнем; к этим башням подведены огромные трубы, подающие сжатый и нагретый воздух. Для чего это? Зачем плавится там внутри металл, горит уголь, вспыхивают при выходе тучи раскаленных газов?

И вы, наверное, удивитесь, если я скажу вам, что это лаборатория атомов: в руде атомы железа крепко-крепко связаны более крупными шарами – атомами кислорода, которые мешают железным атомам сблизиться и дать нам ковкий тяжелый металл – железо... А руда железа совсем не имеет свойств этого металла, хотя и содержит 70 % его. Поэтому надо выгнать кислород. Но это не так просто сделать!

Помните, читатель, сказку, как одна девочка должна была выбрать из груды зерен все песчинки и как она позвала для этой работы своих друзей муравьев и они выполнили успешно трудный урок? Так ведь то были песчинки, которые в миллион



Металлургический завод



Весовое содержание элементов в земной коре (до глубины 16 км)

раз больше, чем атомы кислорода! «Трудная задача, да и вряд ли выполнимая», – скажете вы. Да, много труда и человеческой энергии потребовалось, чтобы решить эту головоломку.

И все же она решена!

Человеческий гений призвал здесь на помощь не муравьев, а атомы других веществ. И в союзе со стихиями – огнем и ветром – он заставил эти атомы отнимать кислород от железа и выносить его с горячим воздухом на поверхность кипящего в печи расплава.

Что же это за атомы-друзья, которые победили кислород? Их два – кремний и углерод. Оба они очень крепко, крепче железа, схватывают кислород и образуют с ним прочные постройки. И оба помогают друг другу. Углерод, сгорая, отнимает кислород и при этом развивает огромную температуру; но один он не оправился бы, так как твердая железная руда тугоплавка, малоподвижна и атомам углерода не проникнуть внутрь плотных кусков руды.

Но тут приходит на помощь кремний: маленький, цепкий, он дает легкоплавкие шлаки, растворяет руду, отнимает кислород и передает его углероду. Часть углерода растворяется в железе и сообщает ему подвижность, легкоплавкость.

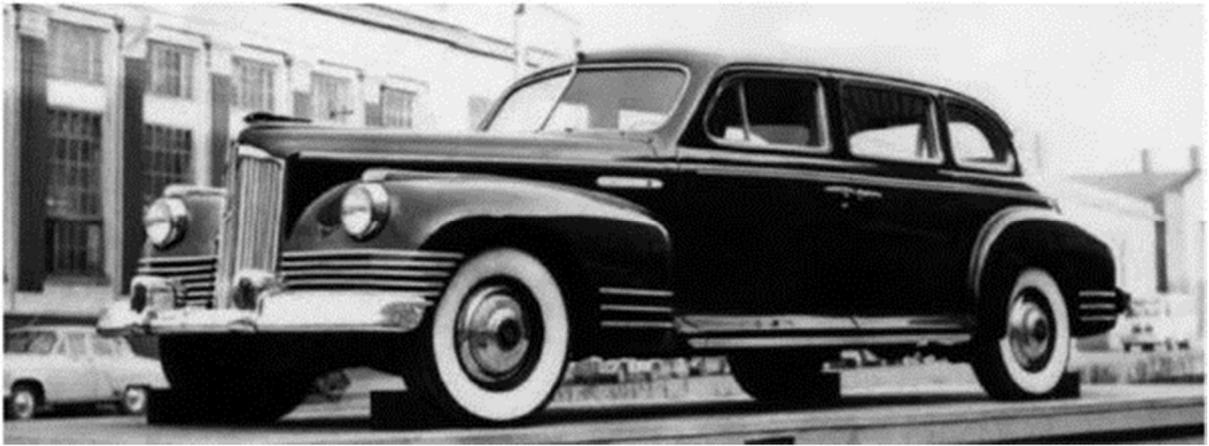
И тогда приходят на помощь стихии: огонь увеличивает подвижность, все легкое вместе с газами всплывает вверх, все тяжелое опускается вниз, и вот перед нами чудо: атомы разделились – железо с растворенным углеродом располагается внизу печи, легкие шлаки, унесшие весь кислород руды, плавают на поверхности расплавленного металла; их можно выбросить туда, куда укажет рука мастера...

Как много знаний надо было накопить, как детально надо было изучить повадки и прихоти каждого атома, чтобы суметь в колоссальных масштабах безошибочно сортировать атомы по своему желанию!

\* \* \*

Посмотрим теперь на третий снимок – наш отечественный автомобиль. Он тоже – сочетание атомов, подобранных друг к другу для единой цели – дать неутомимую, сильную, бесшумную и быструю машину.

Три тысячи деталей из 65 сортов атомов и не менее 100 сортов металла – вот что такое эта машина! В ней много железа, но железа, свойства которого изменены на сотни ладов: вот сплав железа с 4 % углерода – чугун, из него отлито тело мотора. Но вот в нем оставили меньше углерода – и получилась твердая и упругая сталь. Вот к железу прибавили похожие на него атомы марганца, никеля, кобальта, молибдена – сталь стала упругой, выносливой, не боящейся ударов. Прибавили ванадия – сталь приобрела гибкость хлыста, и создалась неутомимая рессора...



Легковой автомобиль ЗИЛ-110 производства Московского автозавода им. Лихачева

На втором месте в машине теперь стоит не медь, как раньше, а алюминий, – поршни и ручки, изящные корпуса, покрытия и полосы – все, что можно сделать легким, все из алюминия или его сплавов с медью, кремнием, цинком, магнием...

А лучший фарфор – в автомобильных свечах, а лаки, не боящиеся дождя и холода, сукна, медь – в проводах, свинец и сера – в аккумуляторах... Довольно, а то не останется ни одного элемента, который бы не ездил в автомобиле... Они, сочетаясь между собой, образуют более 250 различных веществ и материалов, которые прямо или косвенно используются автомобильной промышленностью.

И надо подчеркнуть, что человек идет здесь наперекор природным процессам, ломает их, заставляет их подчиниться своей воле. Разве естественно быть алюминию свободным? Нет и нет; и если бы не гений человека, – этого никогда не случилось бы, хотя бы Земля существовала еще миллиарды лет.

Человек, поняв и узнав свойства атомов, использовал эти знания для того, чтобы переместить элементы так, как ему нужно. В земле распространены больше всего легкие элементы; пять из них – кислород, кремний, алюминий, железо и кальций – составляют 90,03 % земной коры. Если прибавить еще семь – натрий, калий, магний, водород, титан, углерод и хлор, – то эти двенадцать элементов составят 99,29 %. На долю остальных восьмидесяти элементов приходится едва 0,7 % по весу. Но человека не устраивает такое распределение: он упорно ищет редко встречаемые элементы, извлекает их из земли подчас с невероятными трудностями, изучает их свойства на все лады и использует там, где это необходимо и целесообразно. Вот почему в автомобиле оказались никель, которого в земле две сотых процента, и кобальт, которого одна тысячная процента, молибден, которого менее

одной тысячной процента, и даже платина, которой двенадцать миллиардных процента!

Всюду атомы – и человек их хозяин! Властной рукой он берет их, смешивает их, ненужные отбрасывает, нужные соединяет, хотя без него эти элементы никогда не встретились бы вместе. И если горное озеро в Таджикистане славит могучие стихии, воздвигнувшие скалы и создавшие провалы, то завод и автомобиль – это индустриальная симфония могущества человеческого гения, его труда и знаний.

## ***Рождение и поведение атома в мироздании***

Я вспоминаю один вечер, тихий, прекрасный вечер в Крыму. Вся природа как будто бы уснула, и ничто не тревожило гладь спокойного моря. Даже звезды на черном южном небе не мерцали, а сияли яркими лучами. Замолкла жизнь вокруг, и, казалось, весь мир остановил свое движение и замер в бесконечной тишине южной ночи.

Но как далека эта картина от истины и как обманчивы тишина и спокойствие окружающей нас природы!

Достаточно подойти и начать медленно вращать рукоятку радиоприемника, чтобы узнать, что весь мир пронизан мириадами несущихся электромагнитных волн. Измеряемые то несколькими метрами, то тысячами километров, бурные волны мирового эфира поднимаются на высоту озоновых слоев и обрушиваются вновь на землю. Налагаясь одни на другие, они наполняют весь мир не слышными невооруженному уху колебаниями<sup>[9]</sup>.

А звезды, которые кажутся столь незыблемыми на небосводе, несутся в мировом пространстве с головокружительной скоростью в сотни и тысячи километров в секунду. Одно Солнце-звезда устремляется в одну сторону галактики, увлекая за собой целые потоки тел, не доступных глазу; другие закручиваются в еще более быстром темпе, создавая грандиозные туманности; третьи уходят в неведомые области мироздания.

Со скоростями в тысячи километров в секунду несутся пары раскаленного вещества в атмосфере звезд, и в несколько минут вырастают громадные клубы газов в тысячи километров, образуя сверкающие в короне Солнца протуберанцы.

Кипит расплавленное вещество и в непомерных глубинах далеких звезд. Температура там достигает десятков миллионов градусов; отдельные частицы отрываются друг от друга, разрываются ядра атомов, потоки электронов устремляются в верхние слои звездных атмосфер, а мощные электромагнитные бури, пронизывая миллионы и миллиарды

километров, достигают нашей Земли, возмущая спокойствие ее атмосферы.

Весь космос насыщен колебаниями, и прекрасно сказал один из величайших ученых прошлого – Лукреций – почти за сто лет до нашей эры:

...То телам изначальным, конечно,  
Вовсе покоя нигде не дано в пустоте необъятной.  
Наоборот: непрерывно гонимые разным движеньем,  
Частью далеко они отлетают, столкнувшись друг с другом,  
Частью ж расходятся врозь на короткие лишь расстоянья.

Живет своей жизнью и наша Земля. Тихая, как будто безмолвная, ее поверхность на самом деле вся насыщена жизнедеятельностью. Миллионы мельчайших бактерий населяют каждый кубический сантиметр почвы. Электронный микроскоп, расширяя рамки исследования, открывает новые миры еще более мелких живых существ, постоянно движущихся вирусов; и спор идет о том, считать ли их живыми существами или диковинными молекулами неживой природы.

Вечно перемещаются молекулы в тепловых движениях моря, а научный анализ показывает, что в морской воде колебания совершают сложные и длительные пути со скоростями, измеряемыми километрами в минуту.

Вечно идет обмен атомами между воздухом и землей. Из глубин земной поверхности испаряются в воздух атомы гелия; скорость их движения настолько велика, что они преодолевают земное тяготение и улетают в межпланетное пространство. Подвижные атомы кислорода внедряются из воздуха в организмы; молекулы угольной кислоты разлагаются растениями, создавая постоянный круговорот углерода, а в глубинах Земли, стремясь вырваться к поверхности, кипят еще огненные расплавы тяжелых пород.

Твердый, спокойный, лежит перед нами чистый и прозрачный кристалл. Казалось бы, что отдельные атомы вещества распределены в строго определенных узлах какой-то неизменно прочной решетки. Но это только кажется: они постоянно находятся в движении, вращаясь вокруг своих точек равновесия, постоянно обмениваясь своими электронами, то свободными, как у атомов металла, то связанными, и совершают свое движение по сложно повторяющимся орбитам<sup>[10]</sup>.

Все живет вокруг нас. Картина тихого вечера в Крыму обманчива; и чем больше наша наука овладевает природой, тем шире раскрывается перед ней действительная картина всех движений окружающего нас мирового вещества. И когда науке стало доступно измерение движения за время миллионных долей секунды, когда она своими новыми рентгеновскими «руками» измеряет миллионные доли сантиметра с такой точностью, с

какой мы не можем мерить нашим метром, когда она научилась увеличивать картины природы более чем в 500 тысяч раз и сделала доступными глазу человека не только мельчайшие вирусы, но и отдельные молекулы вещества, стало понятно, что нет больше в мире спокойствия, а есть лишь хаос постоянных движений, ищущих своего временного равновесия.



Вечер в Крыму

Когда-то, давным-давно, еще до расцвета Древней Греции, на Малоазиатских островах жил замечательный философ Гераклит. Он сумел проникнуть в глубины мироздания своим прозорливым умом, и им были сказаны слова, которые Герцен назвал самыми гениальными словами в истории человечества.

Гераклит сказал: «Панта реи» – «Все течет» – и положил в основу своей системы мира идею о вечном движении. С этой идеей прошло

человечество все эпохи своей истории. На ней строил свою философию Лукреций в замечательном стихотворении о природе вещей и истории мира. На ней строил с редкой прозорливостью свою физику гениальный русский ученый М. В. Ломоносов, говоря, что каждая точка в природе имеет три движения: поступательное, коловратное и зыблющееся. И сейчас, когда новые успехи науки подтвердили это старое философское представление, мы должны по-новому смотреть на окружающий нас мир и законы вещества.

Законы распределения атомов явятся для нас законами тех бесконечно сложных движений разных скоростей, разных направлений и разных масштабов, которые определяют все разнообразие окружающего нас мира, все разнообразие мятущихся в нем отдельных атомов. Мы начинаем сейчас понимать по-новому мировое пространство, окружающее нас.

Размеры доступной нашему наблюдению вселенной колоссальны. Их нельзя измерять километрами, – это слишком малая единица. Даже расстояние между Солнцем и Землей, которое равно 150 миллионам километров и которое свет проходит в восемь с третью минут, хотя за каждую секунду он может обогнуть Землю семь с половиной раз, и то слишком малая единица. Ученые придумали особую единицу – «световой год», то есть то расстояние, которое свет пробегает за год. Лучшие телескопы могут различать звезды, свет которых идет до нас миллионы лет... Поистине нет границ космосу! Только для нас пределы его определяются степенью совершенства наших телескопов...

Клубок звездной материи в мировом пространстве в отдельных местах образует сгущения, – возникает то, что мы называем видимым миром. Таких миров примерно сто миллиардов. В каждом из этих миров также около ста миллиардов звезд, а в каждой звезде 1 и 57 нолей протонов и нейтронов – тех мельчайших частиц, из которых составлялся весь мир, не считая более мелких частиц электричества – отрицательно заряженных электронов.

В мировом пространстве больше всего водорода. Мы знаем большое число космических туманностей, в состав которых входит почти только один водород. Атомы водорода собираются, влекомые силой мирового тяготения, подталкиваемые особыми межатомными силами, изучение которых еще только началось. Возникают мощные клубки, состоящие из количества атомов, выражаемого цифрой из 56 знаков, – появляется звезда. Но размеры мироздания бесконечно велики по сравнению с объемом возникших атомов. Мы знаем, что большая часть мирового пространства фактически как бы пуста, только от 10 до 100 частиц – атомов вещества приходится на один кубометр, а это отвечает такому разрежению, которое в единицу с 27 нолями раз меньше, чем нормальное давление атмосферы на Земле. От этих разреженных мировых пространств мы можем дойти до совершенно невиданных уплотнений, вызванных давлением в глубинах звезд, где миллионы

атмосфер сочетаются с десятками или сотнями миллионов градусов: тут-то и находится природная лаборатория, где возникают из водорода новые, более тяжелые атомы, и в первую очередь – гелий.



Туманность М-101 в созвездии Большой Медведицы

В звездах, светящихся ослепительно белым светом, как, например, знаменитый спутник Сириуса, вещество такое плотное, что оно в тысячу раз тяжелее золота и платины. Нам трудно себе даже представить, что это за вещество и каковы его свойства.

С одной стороны – бесконечные межпланетные пространства, рассекаемые свободным полетом одиноких атомов. Здесь диалектически сплетается мировой покой со стремительным движением, здесь господствует температура почти абсолютного нуля.

С другой стороны – центральные области звезд, в которых миллионы градусов сочетаются с давлениями в миллионы атмосфер, где атомы, преодолев отталкивание электронов, сбиты в одну плотную массу невиданных на Земле веществ. В этих условиях совершается эволюция

химических элементов, тем более тяжелых и плотных, чем больше масса звезды и выше давление и температура в ее внутренних частях.

Рождающийся химический элемент является первым звеном в борьбе против хаоса. Из свободных протонов и электронов в условиях грандиозных температур и давлений могут образовываться более тяжелые ядра.

Так постепенно в разных местах Вселенной возникают разные постройки, которые мы называем химическими элементами. Одни из них более тяжелые, более насыщенные энергией, другие легкие и состоят всего лишь из нескольких протонов и нейтронов. Эти более легкие элементы увлекаются потоками на периферию звезд, в их атмосферу, или сплетаются в громадные мировые туманности. Другие, менее подвижные, остаются на поверхности раскаленных или расплавленных тел.

Сильнейшие излучения разрушают одни постройки, возводят другие; одни элементы распадаются, другие вновь создаются до тех пор, пока готовые атомы не попадут туда, где нет могучих сил, которые могли бы разрушить их прочные ядра. И тогда начинается история странствования в мироздании отдельных атомов. Одни наполняют межпланетные пространства, как, например, атомы кальция и натрия. Другие, более тяжелые, более устойчивые, накапливаются в отдельных частях туманностей. Температуры падают, электрические поля атомов сочетаются друг с другом, образуются молекулы простых химических соединений: карбиды, углеводороды, частицы ацетиленов, какие-то формы неизвестных нам на Земле тел, которые находят астрофизики при наблюдениях раскаленных поверхностей далеких звезд как первый продукт сочетаний атомов. Из них, из этих свободных простых молекул, постепенно рождаются все более и более стройные системы. В условиях низких температур, вне разрушительных полей и космических глубин, наконец рождается второе звено мирового порядка – кристалл. Кристалл – это замечательная постройка, где атомы расположены в определенном порядке один по отношению к другому, словно кубики в коробке.

Рождение кристалла есть следующий этап в процессе выхода вещества из хаоса. Для образования кубического сантиметра кристаллического вещества сочетается друг с другом огромное количество отдельных атомов, выражающееся единицей с 22 нулями. Появляются новые свойства, свойства кристалла. Господствуют уже не законы тех электромагнитных клубков, из которых они сложены, не таинственные еще законы энергии ядер, а новые законы вещества – законы химии.



Кристалл топаза

Я не буду продолжать дальше описание этой картины. Я хотел только показать, что мир, окружающий нас, нам мало известен и необычайно сложен, что его спокойствие только кажущееся, что весь он наполнен движением; в вихре движений рождается в мире вещество в том виде, в каком мы его знаем у нас, на Земле, каким видим его в твердом камне в окружающей нас природе. Многие из того, что я вам рассказал, уже доказано современной наукой, но еще много загадочного осталось в нашем представлении о том, как из мирового хаоса рождается сначала атом, а потом кристалл.

И все же как замечательно нарисована эта картина Лукрецием, римским философом, две тысячи лет тому назад! Припомним несколько строк из его поэмы:

Был только хаос один и какая-то дикая буря  
Всякого рода начал, беспорядок нестройный которых  
Все промежутки, пути, сочетания, тяжесть, удары,  
Встречи, движения их возмущал, затевая сраженья,  
Так как, при разнице форм и в силу несходства в фигурах,  
Ни соединенными так им нельзя было всем оставаться,  
Ни произвесть меж собой каких-либо стройных движений.

Врозь разбегаться затем стали разные части, со сходным  
Сходное в связи входит и мир разграничивать стало,  
Члены его разделять и дробить на великие части.

Итак, в природе нет покоя: все изменяется, хотя и с разной скоростью. Изменяется и камень, символ прочности, ибо атомы, его составляющие, находятся в вечном движении. А нам он кажется прочным и неподвижным лишь потому, что мы не видим этого движения, результаты которого становятся ощутимыми через долгие сроки, тогда как сами мы изменяемся неизмеримо быстрее.

Долгое время считали, что только атом неделим, неизменен и равнодушен к вечной перемене. Но нет – и атомы послушны времени. Одни из них – мы называем их радиоактивными – меняются быстро, другие – медленно... Мало того, мы знаем теперь, что и атомы эволюционируют, создаются в пеклах звезд, развиваются, умирают...

И в человеческом представлении – отражение того же вечного движения и развития: сначала непонимание, хаос, отсутствие порядка. Но вот начинают проясняться типы связей всех частей мира, движения оказываются закономерными, возникает стройная картина единой Вселенной... Таков мир, как его раскрывает нам современная наука.

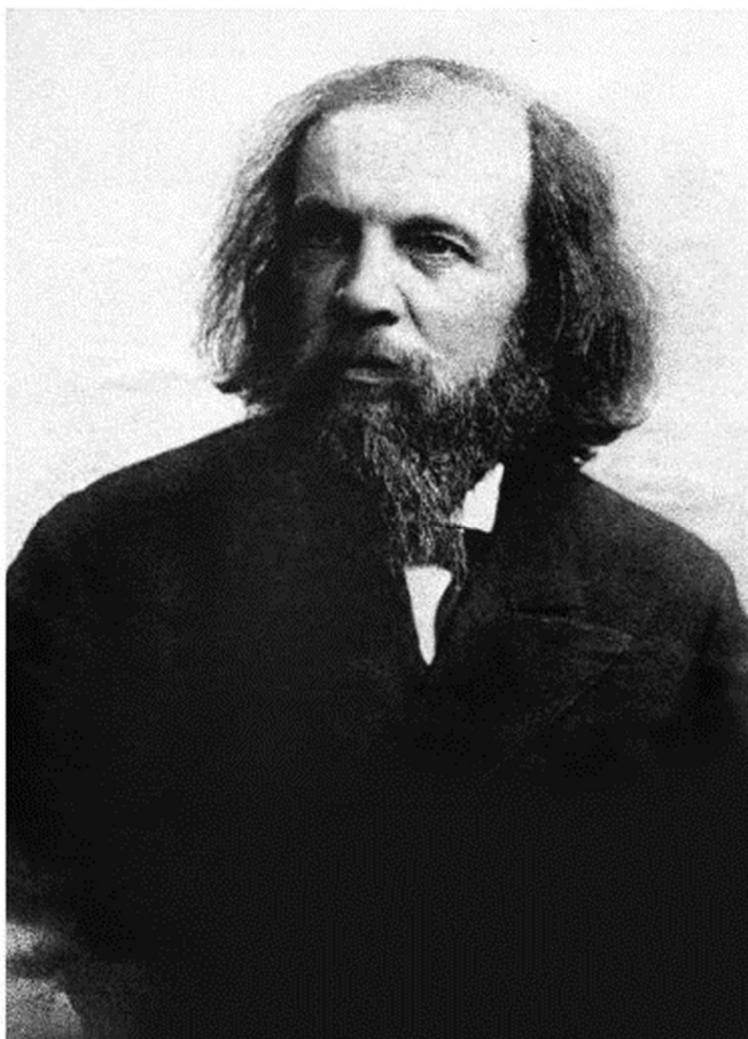
## ***Как Менделеев открыл свой закон***

В старом здании химической лаборатории Петербургского университета сидел молодой, но уже известный профессор. Это был Дмитрий Иванович Менделеев. Он только что получил кафедру общей химии в университете и был занят составлением курса для студентов. Он искал при этом наиболее удобных форм для изложения законов химии, описания истории отдельных элементов и упорно думал над тем, как построить свои лекции. Как связать между собой рассказы о калии, натрии или литии, о железе, марганце и никеле? Он уже чувствовал, что есть какие-то, не совсем еще понятные связи между отдельными химическими элементами.

Для того чтобы найти лучший порядок, он взял отдельные карточки и на них написал крупными буквами название элемента, его атомный вес и некоторые главные свойства. Затем он стал раскладывать эти карточки, группируя элементы по их свойствам, примерно так, как наши бабушки раскладывали вечерами свои пасьянсы.

И вот профессор увидел замечательную закономерность. Он разложил все химические элементы подряд, в порядке увеличения атомного веса, и оказалось, что, за немногими исключениями, через определенные промежутки свойства элементов начали повторяться. Тогда он стал подкладывать следующие карточки под первым рядом и сделал второй,

а отложив семь элементов, начал раскладывать третий ряд.



Д. И. Менделеев (1834–1907)

В этом ряду пришлось разложить уже семнадцать элементов, так, чтобы похожие атомы лежали один под другим; да и не очень хорошо все сходилось, пришлось оставлять свободные места. Затем снова таких же семнадцать карточек – получился следующий ряд. Дальше дело пошло сложнее – ряд атомов совсем не хотел укладываться, но все же повторение свойств намечалось ясно.

Таким образом, все известные Д. И. Менделееву элементы расположились в виде особой таблицы, при этом, за немногими исключениями, все они следовали один за другим горизонтальными рядами в порядке повышения их атомного веса, а сходные элементы оказались расположенными по вертикали в ряды колонок.

В марте 1869 года Д. И. Менделеев прислал в Физико-химическое общество в Петербурге первое краткое сообщение о своем законе. Потом, предвидя огромное значение сделанного им открытия, он стал

упорно над ним работать, уточнять, исправлять свою таблицу. Он скоро убедился, что в таблице есть пустые места.

«В этих пустых местах за кремнием, бором и алюминием будут найдены новые вещества», – говорил он. Это предсказание вскоре сбылось, и пустые клетки таблицы были заполнены вновь открытыми элементами, получившими названия галлия, германия и скандия.

Так русским химиком Д. И. Менделеевым было сделано величайшее в истории химии открытие. Но не думайте, друзья, что это так просто – взять карточки, написать на них названия, разложить по порядку – и все готово! Эта простота, эта как бы некоторая случайность в открытии – только кажущаяся. Ведь в те времена было известно лишь 62 элемента. Атомные веса были определены неточно, отчасти неверно, свойства атомов были изучены еще плохо.

Надо было суметь вникнуть в природу каждого химического вещества, понять сходство одних элементов с другими, разгадать пути странствования каждого из них, их «дружбу» или «вражду» в самой земле.

Д. И. Менделееву удалось связать воедино все то, что до него было сделано по изучению химии Земли.

Связи между элементами, правда еще в неясном и несовершенном виде, подмечали и другие ученые.

Но большинство ученых того времени считало идею о родстве элементов абсурдной. Так, когда английский химик Д. А. Ньюлендс, один из борцов за свободу Италии в войсках Гарибальди, представил для печати работу о повторяемости свойств некоторых элементов при возрастании атомного веса, его работа была отвергнута Химическим обществом, а один из химиков сказал в насмешку, что Ньюлендс добился бы еще более интересного вывода, если бы расположил все элементы в алфавитном порядке по их названиям.

Но это все были частности. Надо было сделать неизмеримо большее: надо было подметить единый план, основной закон

Вселенной и показать на фактах, что он действует везде, что каждый элемент всеми своими свойствами зависит от этого закона, подчиняется ему, вытекает из него.

Для этого надо было иметь гениальную интуицию, умение подмечать общее в противоречивом, иметь настойчивость в исследовании конкретных фактов. Это мог сделать только такой гигант мысли, каким был Д. И. Менделеев.

Д. И. Менделеев сумел так ясно, четко и просто представить взаимную связь всех атомов природы, что никто не мог опровергнуть его систему. Порядок был найден. Правда, еще загадочны были те связи, которые соединяли элементы между собой, но порядок был столь очевиден, что

позволил Менделееву говорить о новом законе природы – периодическом законе химических элементов.

С тех пор прошло более семидесяти пяти лет. Почти сорок лет работал над этим законом Д. И. Менделеев, проникая в самые глубокие тайны химии.

В Палате мер и весов, которой он заведовал, он изучал и измерял самыми точными методами разные свойства металлов, находя все больше и больше подтверждений своему открытию.

Он ездил по Уралу, изучая его богатства, посвятил много лет проблеме нефти и ее происхождения, и всюду – в лаборатории и в природе – он видел подтверждение своего периодического закона. В глубочайших теориях и на практике этот закон превращался в руководящий компас, который, как мореплавателей в море, направлял искания ученых и практиков.

И до самой своей смерти Д. И. Менделеев совершенствовал, исправлял, углублял свою маленькую табличку 1869 года; и сотни химиков, следуя по его гениальному пути, открывали то новые элементы, то новые соединения, постепенно разгадывая глубокий внутренний смысл таблицы Менделеева.

Сейчас она встала перед нами в совершенно новом виде.

Оказалось, что таблица Д. И. Менделеева явилась превосходным руководством для изучения закономерности строения спектров атомов. Изучая спектры элементов и расположив их в порядке таблицы Менделеева, молодой английский физик Генри Мозли совершенно неожиданно в 1913 году раскрыл еще одну закономерность таблицы Менделеева и установил важную роль порядкового номера элемента в таблице.

# ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Ti = 50	Zr = 90	? = 180.	
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,1.	
		Fe = 56	Rn = 104,4	Ir = 198.	
		Ni = Co = 59	Pl = 106,6	Os = 199.	
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.	
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,1	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

**Д. Менделѣевъ**

Первый опубликованный вариант Периодической системы элементов Д. И. Менделеева

Он доказал, что самое важное в элементе – это заряд центрального ядра, который точно равен порядковому номеру элемента. У водорода он равен единице, у гелия – двум, а, например, у цинка – тридцати, у урана – девяноста двум. И столько же электронов привязано этими зарядами к ядру и носится вокруг него по орбитам.

Во всех атомах число электронов, окружающих ядро атома, равно порядковому номеру элемента. Все электроны определенным образом распределяются по отдельным слоям. Первый, ближайший к ядру слой К содержит у водорода 1 электрон, а у всех других элементов – 2 электрона. Второй слой L у большинства атомов содержит 8 электронов. Слой M может иметь до 18 электронов, слой N – до 32.

Химические свойства атомов определяются главным образом строением внешнего электронного слоя, который отличается особой устойчивостью,

когда число электронов в нем достигает восьми. Атомы, имеющие во внешнем слое один или два электрона, легко их отдают, превращаясь при этом в ионы. Например, натрий, калий, рубидий имеют во внешней оболочке по одному электрону. Они легко их теряют и превращаются в одновалентные положительно заряженные ионы. При этом следующий электронный слой становится, таким образом, внешним слоем. Он содержит восемь электронов, что обеспечивает устойчивость иона-атома.

Атомы кальция, бария и других щелочноземельных металлов имеют по два внешних электрона, потеряв которые они превращаются в устойчивые двухвалентные положительные ионы. Атомы брома, хлора и других галогенов имеют во внешней оболочке по семи электронов. Они жадно захватывают электроны из внешних оболочек других атомов и, дополнив ими свою оболочку до восьми электронов, становятся устойчивыми отрицательными ионами.

У элементов, имеющих во внешней оболочке три, четыре и пять электронов, склонность к образованию ионов при химических реакциях выражена менее ярко.

Вес атома и частота его распространения в природе зависят от строения ядра. Химические же свойства элемента и его спектр зависят от числа электронов и оказываются чрезвычайно близкими у элементов, у которых сходно строение внешней электронной оболочки.

Такова тайна атома. Со времени ее открытия химики и физики, геохимики и астрономы, техники и технологи – все поняли, что один из глубочайших законов природы – это периодический закон Менделеева.

## ***Периодическая система элементов Д. И. Менделеева в наши дни***

Много различных способов предлагалось исследователями, чтобы как-нибудь яснее и резче выявить характерные черты менделеевской таблицы.

Великий закон Менделеева в разное время изображали по-разному: то в виде полос и колонок, то закрученной спиралью на плоскости, то в сложном переплете каких-то дуг и линий.

Мы еще вернемся к попытке изложить таблицу в форме грандиозной спирали, а сейчас мы дадим ее так, как дает современная наука.

Давайте разберемся несколько в этой таблице и попытаемся понять ее глубокий смысл.

Прежде всего мы видим большое количество клеток. Они расположены семью горизонтальными рядами и разбиты вертикальными линиями на

восемнадцать полос, или, как их называют химики, групп. Впрочем, сейчас же отметим, что в большинстве учебников таблица дается в несколько ином виде (ряды как бы сдвоены), но нам удобнее ее рассматривать именно так.

В первом ряду находится всего 2 элемента: водород (H) и гелий (He); во втором и третьем – по 8 химических элементов; в четвертом, пятом и шестом рядах – по 18 химических элементов. Клетки этих шести рядов должны были бы занимать 72 химических элемента, однако оказывается, что между клеткой № 57 и клеткой № 72 вставлено 14 элементов, сходных с лантаном, так называемых лантаноидов. Наконец, последний ряд содержит, видимо, как и предыдущий, 32 клетки, но из них пока заполнена лишь часть.

Трудно себе представить возможность существования каких-либо химических элементов, расположенных перед первой клеткой, занятой водородом, так как ядро водорода – протон и нейтрон являются теми основными кирпичиками, из которых составлены ядра всех других атомов; нет сомнения, что водород правильно стоит в начале всей менделеевской таблицы. Гораздо сложнее вопрос о ее конце. Последнее место долго занимал металл уран.

Однако при некоторых опытах получены были заурановые<sup>[11]</sup> элементы. Следовательно, уран не кончает менделеевскую таблицу. За ним оказались занятыми еще и следующие клеточки<sup>[12]</sup>.

Как мы видим по цифрам вверху каждой клеточки, все клетки пронумерованы. Номера идут подряд от первого. Они называются порядковыми номерами химических элементов, связаны с количеством электрических частиц, которые содержатся в элементах, и потому являются очень важным и неотъемлемым свойством каждой клеточки, каждого элемента.

Например, число 30 в клетке, в которой стоит металл цинк с атомным весом 65,38, обозначает, с одной стороны, порядковый номер клетки, с другой – говорит, что атом цинка состоит из ядра с вращающимися вокруг него тридцатью электрическими частицами, называемыми электронами.

Тщетно пытались химики отыскать в природе элементы № 43, № 61, № 85 и № 87, анализировали различные минералы и соли, пытались найти в спектроскопе какие-либо еще не разгаданные линии. Много раз ошибались, печатали в журналах громкие статьи об открытии элементов, но все же эти четыре элемента ни на Земле, ни на небесных светилах не найдены. Их удалось теперь, однако, приготовить искусственно.

Один из них, № 43, по своим свойствам должен походить на марганец. Он и был назван Д. И. Менделеевым экамарганцем.

В настоящее время этот элемент искусственно получен и назван – технеций.

Второй расположен под йодом и обозначен № 85. Он должен обладать какими-то сказочными свойствами, должен быть еще более летучим, чем йод. Д. И. Менделеев назвал его экайод. Он тоже искусственно получен и назван – астатин или астат.

### ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С УКАЗАНИЕМ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ

3 Li 6.940	4 Be 9.012	5 B 10.82	6 C 12.010										
11 Na 22.997	12 Mg 24.32	13 Al 26.98	14 Si 28.09										
10 K 39.100	20 Ca 40.08	21 Sc 44.06	22 Ti 47.90	23 V 50.95	24 Cr 52.01	25 Mn 54.93	26 Fe 55.85	27 Co 58.94					
37 Rb 85.48	38 Sr 87.63	39 Y 88.92	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.95	43 Tc (99)	44 Ru 101.7	45 Rh 107.91					
55 Cs 132.91	56 Ba 137.35	57-71 Lanthanides	72 Hf 178.6	73 Ta 180.88	74 W 183.92	75 Re 186.31	76 Os 190.2	77 Ir 192.22					
87 Fr (223)	88 Ra 226.05	89 Ac 227	90 Th 232.12	91 Pa 231	92 U 238.07								

точка налево вверху —  
точка налево внизу —

точка направо вверху —

точка направо внизу —

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	57 La 138.92	58 Ce 140.13	59 Pr 140.92	60 Nd 144.27	61 Pm (145)	62 Sm 150.43	63 Eu 152.0
-------------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------

ЗАУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (245)	97 Bk (247)	98 Cf (248)	99 An (247)
---------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

### ЭЛЕМЕНТЫ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА РОЛИ ЭЛЕМЕНТОВ

элементы гранитов (розовый цвет)  
элементы тяжелых, богатых железом и магнием горных пород (зеленый цвет)  
элементы земной поверхности, воздуха и воды (голубой цвет)  
элементы рудных жил (желтый цвет)

		1 H 1.008	2 He 4.003												
		7 N 14.008	8 O 16.00	9 F 18.998	10 Ne 20.183										
		15 P 30.975	16 S 32.06	17 Cl 35.457	18 Ar 39.944										
28 Ni 58.69	29 Cu 63.54	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.62	33 As 74.91	34 Se 78.96	35 Br 79.906	36 Kr 83.80							
46 Pd 106.7	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.76	50 Sn 118.70	51 Sb 121.76	52 Te 127.61	53 I 126.91	54 Xe 131.3							
78 Pt 195.23	79 Au 197.2	80 Hg 200.61	81 Tl 204.39	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po 210.0	85 At (211)	86 Rn 222.0							

64 Gd 156.9	65 Tb 159.2	66 Dy 162.46	67 Ho 164.94	68 Er 167.2	69 Tm 168.9	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------

100 Cn (248)	Клетки можно раскрасить цветными карандашами в условные цвета: розовый, зеленый, голубой и желтый, — в соответствии с расположением точек. (Цифры в скобках обозначают атомный вес наиболее устойчивых изотопов искусственно полученных элементов.)						
--------------------	---	--	--	--	--	--	--

Клетки можно раскрасить цветными карандашами в условные цвета: розовый, зеленый, голубой и желтый, — в соответствии с расположением точек. (Цифры в скобках обозначают атомный вес наиболее устойчивых изотопов искусственно полученных элементов.)

Третий такой же, долгое время бывший загадочным, элемент обозначен в нашей таблице № 87, его предсказывал еще сам Д. И. Менделеев, называя – экацезий. Он синтезирован и получил имя – франций.

Наконец, четвертый элемент, которого не нашли ни на Земле, ни на звездах, – это № 61. Он является одним из металлов редких земель. Он искусственно получен и обозначается именем – прометий.

Сейчас таблица элементов много полнее, чем в те времена, когда Д. И. Менделееву надо было разобраться в сложной картине природы и написать первый проект таблицы.

Как мы уже говорили, каждая клетка под определенным номером занята одним химическим элементом. Однако физики показали, что в действительности дело обстоит сложнее. Так, в клетке № 17, судя по химическим свойствам, имеется один только атом газа хлора с маленьким ядром и семнадцатью электронами, которые, подобно планетам, окружают его со всех сторон. А между тем физики указывают,

что хлора два: один потяжелее, другой полегче. Но так как пропорция их везде одинакова, то и средний вес всегда равен 35,46.

А вот другой пример. Хорошо знакомая нам клетка № 30 занята цинком. Но и здесь физики показывают, что цинки есть разные, одни более тяжелые, другие более легкие, всего шесть разных сортов. Таким образом, оказывается, что хотя каждая клетка содержит один химический элемент с определенными природными свойствами, но сортов, или изотопов, этого элемента бывает несколько. В иных случаях один, а в других – даже десять.

Конечно, это страшно заинтересовало геохимиков. Почему же все изотопы встречаются в строго определенных количествах, почему не бывает в одном месте больше тяжелого, а в другом легкого элемента? Химики принялись за энергичную работу по проверке этого факта. Они взяли для анализов соли разного происхождения: простую поваренную из моря, из разных озер, каменную соль, соль из Центральной Африки; выделили из каждого сорта соли газ хлор и неожиданно получили для атомного веса одинаковые числа. Взяли даже хлор из камней, падающих с неба, – и здесь состав хлора оказался совершенно таким же. И то, что мы называем атомным весом, не изменялось, откуда бы мы ни брали элемент.

Но недолго продолжалось торжество химиков. Другие исследователи попытались в лаборатории разделить эти тяжелые и легкие изотопы атома. После сложной и долгой перегонки газа хлора удалось получить один газ, состоящий из более легких атомов хлора, а другой – из более тяжелых. Химически оба эти хлора совершенно одинаковы, а вот веса у них различные.

Это открытие изотопов каждого элемента усложнило всю менделеевскую таблицу. Так это казалось раньше просто – 92 клетки, в каждой клетке по одному химическому элементу. Номер говорит о числе электронов вокруг ядра, все так просто, ясно и определено! И вдруг оказывается, что это не так!

Вместо одного кислорода – их целых три, и веса их равны точно 15, 16 и 18. Но самое замечательное, что и у водорода три сорта атомов: один с весом 1, второй (дейтерий) – 2, а третий (тритий) – 3. Последнего в природе очень мало, а вот дейтерий оказался необычайно интересным.

Химически это как будто простой водород, но по весу он вдвое тяжелее обычного. На больших заводах, которые разлагают воду при помощи электрического тока, удалось получить чистый дейтерий, а из него – особую воду, в которой вместо легкого водорода – тяжелый. Оказалось, что тяжелая вода обладает особым свойством: она убивает жизнь (очень сильно действует на живые клетки). Словом, «ведет себя» совсем по-особому<sup>[13]</sup>.

После такой удачи химиков этой же проблемой занялись геохимики по отношению к природным телам. Ведь если в ретортах удалось разделить

атомы водорода на разные сорта, то, наверное, это же делает и природа. Только в природе все химические процессы идут так беспокойно, так часто изменяется обстановка природных условий, расплавленных магм в глубинах или на земной поверхности, что вряд ли можно ожидать накопления чистых изотопов, которые удалось получить на фабриках и в институтах. И действительно, оказалось, что в воде морей и океанов немножко больше тяжелой воды, чем в реках и в дожде. Еще больше тяжелой воды содержится в некоторых минералах. Открылся целый новый мир, который раньше не был доступен минералогу и геохимику.

Различие в природе между этими соединениями настолько ничтожно, что нужны самые тонкие методы химического и физического анализа, чтобы суметь его найти.

Миллионные и даже тысячные доли грамма и сантиметра неуловимы для минералога и геохимика, когда он изучает камни, воды и земли окружающей нас природы. Мы можем даже забыть, что кислорода три, что цинков шесть, что калиев два, так ничтожны различия между ними, и скажем откровенно, так еще грубы наши методы исследования.

Только химики и физики при своих точных исследованиях научились разделять элементы на разные изотопы, и нет сомнения, что когда им удастся точнейшими методами изучить всю нашу природу, то они откроют величайшие законы геохимии, о которых мы еще не догадываемся.

Мы с вами пока можем забыть об изотопах. Для нас в каждой клетке менделеевской таблицы стоит один определенный неизменный химический элемент. В клетке № 50 находится для нас одно олово, всегда и всюду одинаковое, дающее всюду одинаковые химические реакции, встречающееся в природе в одинаковых галлах, и всюду его атомный вес будет 118,7.

Менделеевская таблица не пострадала, когда были открыты изотопы, она только усложнилась в своих мельчайших деталях, а по существу осталась все такой же ясной, простой и четкой картиной природы, как ее рисовал нам Менделеев, предвидя своим гениальным умом ее огромное значение<sup>[14]</sup>.

Вникнем поглубже в эту таблицу и рассмотрим, какое же значение имеет она для исследователей природы – для минералогов и геохимиков.

Сначала посмотрим на каждый столбец клеток сверху вниз.

Вот первый – литий, натрий, калий, рубидий, цезий и франций. Это все металлы, мы их называем щелочными. За исключением искусственно полученного франция, в природе они встречаются вместе. Мы хорошо знаем их соединения: для натрия – простую соль, которую вы употребляете за столом, для калия – селитру, из которой делают фейерверки.

Дальше идут очень редкие щелочные металлы, которые сейчас применяются в сложных электрических приборах. Но как ни различны все эти элементы, все они в химическом отношении похожи друг на друга.

Вот второй вертикальный столбец – здесь идут щелочноземельные металлы, начиная с самого легкого, бериллия, и кончая знаменитым радием. И они походят друг на друга, образуя как бы одну семью.

Затем идет третий столбец – бор, алюминий, скандий, иттрий, потом клетка с пятнадцатью редкоземельными элементами и, наконец, актиний. В жизни нам хорошо известны только первые два элемента, которые играют в природе большую роль, – бор и алюминий. Первый входит составной частью в борную кислоту и в буру – ею пользуются при паянии. Вторым – в нефелин, полевой шпат, корунд, боксит, а в чистом виде его можно видеть в металлических изделиях, кастрюлях и ложках. Эта группа довольно сложная. Алюминий еще, пожалуй, настоящий металл, а бор скорее металлоид, так как образует с типичными металлами соли (например, бура).

Переходим к четвертому столбцу – углерод, кремний, титан, цирконий, гафний и, наконец, торий. Первые два важнейших химических элемента природы: углерод, образующий все многообразие живой природы и входящий в состав всех известняков, и кремний, о котором вы прочтете особую главу.

Затем идут пятый, шестой и седьмой столбцы. Это все особые металлы, которые очень высоко ценятся в металлургии железа и прибавляются к стали для улучшения ее свойств.

Дальше идет замечательная середина менделеевской таблицы – ее восьмой, девятый и десятый столбцы. Самая любопытная особенность этой части таблицы заключается в том, что соседние металлы очень близки друг к другу. Железо, кобальт и никель очень похожи друг на друга и в природе постоянно встречаются вместе; очень трудно их разделить и при химическом анализе. Не менее похожи друг на друга легкие платиновые металлы – рутений, родий и палладий – и тяжелые платиновые металлы – осмий, иридий и платина.

За центром таблицы следуют четыре вертикальных столбца, занятые так называемыми тяжелыми металлами. Сюда относятся медь, цинк, олово, свинец – все хорошо нам знакомые в жизни вещества.

Потом идет пятнадцатый столбец. Он начинается с газа азота, затем следуют летучий фосфор и мышьяк, полуметаллическая сурьма и, наконец, довольно типичный металл висмут. Этот столбец как бы намечает собой резкий переход к следующей части менделеевской таблицы, ибо там мы уже не встречаем металлов с металлическим блеском и другими хорошо знакомыми нам свойствами. Там идут вещества, которые химики называли металлоидами: газы, жидкости или просто твердые неметаллы.

Очень характерен столбец шестнадцатый – кислород, сера, селен, теллур и еще загадочный полоний, дальше – семнадцатый столбец, летучих веществ, сначала газов – водорода, фтора и хлора, затем жидкости – брома и, наконец, твердых, но тоже летучих кристаллов йода. Эту группу элементов (кроме водорода) химики называли галогенами, ибо они образуют соли с щелочами. Об этом говорит и смысл греческого названия: «галогены» значит «солероды». Но вот и последний столбец, восемнадцатый. Это редкие, или благородные, газы.

Они ни с чем не соединяются и пропитывают всю землю, все минералы, все окружающее нас в природе. Они начинаются с газа Солнца – легкого гелия – и кончаются замечательным газом радоном, атомы которого живут всего лишь несколько дней.

## ***Периодическая система элементов Менделеева в геохимии***

Как распределены химические элементы в земле и во всей окружающей нас природе? Вот вопрос, который был очень важен для человека с самых давних пор. Он возникал стихийно, на каждом шагу, из потребностей повседневной жизни: первобытный человек нуждался в материале для орудий труда и охоты и стал изготавливать свои примитивные орудия из твердого кремня или такого же твердого, но более прочного нефрита.

И понятно, что поиски полезных ископаемых начались еще за много тысячелетий до нашего времени, когда первобытный человек стал обращать внимание на блески золота в речных песках, на красоту или вес разных камней, привлекавших его внимание.

Так человек сначала узнал, а потом научился добывать и обрабатывать медь, олово, золото и, наконец, железо. Постепенно накапливались наблюдения и опыт. В Древнем Египте уже были известны те районы, в которых надо искать медь и кобальтовые минералы для синей краски, а позднее и железо для бурой охры, глину для статуэток и бирюзу для священных жуков-скарабеев.

Мало-помалу начинали выясняться простые природные законы. Оказалось, что некоторые металлы встречаются часто друг с другом, как, например, олово, медь и цинк; и это натолкнуло человека в свое время на открытие их сплава – бронзы. В других местах встречались вместе золото и драгоценные камни, в третьих – глина и полевые шпаты, из которых можно делать фарфор и фаянс.

Так постепенно открывались основные законы геохимии. И средневековые алхимики, пытаясь в таинственной тиши своих лабораторий получить золото и философский камень, проделали огромную работу по накоплению природных фактов.

Алхимики уже хорошо знали, что некоторые металлы любят друг друга и встречаются вместе; так, сверкающие кристаллы свинцового блеска в жилах земли сопровождаются блестящей цинковой обманкой, серебро следует за золотом, а медь часто встречается вместе с мышьяком.

Когда в Европе развилось горное дело, геохимические закономерности стали более ясными и четкими. В глубоких рудниках Саксонии, Швеции, в Карпатских горах зарождались основные начала новой науки – геохимии, выяснилось, какие вещества встречаются в природе вместе, в каких условиях, каковы те законы, которые заставляют накапливаться те или иные элементы в одних местах Земли и рассеиваться в других.

Ведь это были самые острые вопросы горного дела. Нужно было уметь находить места, где в большом количестве скопились промышленно-важные металлы – железо, золото и тому подобные.

Сейчас мы знаем, что законы совместного нахождения элементов и их поведения очень определены и могут быть использованы для поисков полезных ископаемых.

Мы хорошо знаем даже в нашей повседневной жизни, что такие элементы природы, как азот, кислород и редкие, благородные газы, встречаются преимущественно в атмосфере. Мы знаем также, что в соляных озерах или в соляных коях находятся вместе соли хлора, брома и йода, соединенные с металлами – калием, натрием, магнием и кальцием.

В гранитах, этих светлых кристаллических породах, образовавшихся из остывших расплавленных магм, встречаются свои определенные химические элементы. С ними связаны драгоценные камни, содержащие атомы бора, бериллия, лития и фтора. В них находятся также скопления важных и редких металлов: вольфрама, ниобия, тантала.

В противоположность гранитам, в тяжелых базальтовых породах, излившихся из земных глубин, встречаются вместе минералы хрома, никеля, меди, железа, платины. В сложно ветвящихся системах рудных жил, расходящихся из мощных очагов расплавленной магмы, которая поднимается к земной поверхности, рудоискатель находит цинк и свинец, золото и серебро, мышьяк и ртуть.

И чем дальше развивается наша наука, тем резче и определеннее вырисовываются законы, смысл которых долго оставался непонятным.

А между тем посмотрим на менделеевскую таблицу. Разве она не является для нас, искателей металлов и камней, таким же компасом, каким она служит для химиков!

Середину менделеевской таблицы занимают девять металлов: железо, кобальт, никель и шесть металлов платиновой группы. Мы знаем, что их месторождения – в далеких глубинах земных недр. Когда высоко вздымавшиеся горные хребты в течение миллионов лет размыты почти до равнины, как у нас на Урале, – только тогда эрозия обнажает эти

глубинные зеленые породы, носители железа и платины<sup>[15]</sup>. Вы видите, что эти элементы не только основа наших горных хребтов, но они занимают и центральное место в менделеевской таблице.

Обратимся к тем металлам, которые мы называем тяжелыми и которые заполняют целое большое поле вправо от никеля и платины. Это медь и цинк, серебро и золото, свинец и висмут, ртуть и мышьяк. Разве только что мы не говорили о том, что эти металлы встречаются всегда вместе? Рудокоп их ищет в рудных жилах, прорезающих земную кору.

Теперь пойдете налево от центра таблицы – такое же поле намечается и в левой ее части. Это те хорошо нам знакомые металлы, которые образуют самоцветы, – соединения металлов бериллия и лития; это те редкие и сверхредкие элементы, которые собираются в последних выжимках гранитных массивов в мощных пегматитах гранитных тел.

Пойдемте еще дальше влево и вправо по нашей таблице. Не забудем при этом, что длинные ее ряды смыкаются вместе в общую спираль и что крайние левые и правые группы соприкасаются. Мы видим здесь хорошо нам знакомые элементы соляных месторождений: соляных озер, морей и океанов, мощных скоплений каменной соли. Это те элементы, которые образуют соли хлора, брома, йода, натрия, калия и кальция.

А вот посмотрите внимательнее на крайнюю правую верхнюю часть таблицы – вы здесь найдете основные элементы воздуха атмосферы – азот, кислород, водород, гелий и другие благородные газы. В крайнем левом верхнем углу – литий, бериллий и бор. Разве нам не напоминают они летучие части гранитных массивов, где образуются красивые самоцветные камни, розовые и зеленые турмалины, ярко-зеленые изумруды и фиолетовые кунциты? Как видите, менделеевская таблица сама подсказывает те группы элементов, которые встречаются в природе, – она поистине служит компасом для поисков полезных металлов. И чтобы подтвердить на примере приведенные закономерности, вспомним главные полезные ископаемые Уральского хребта.

Уральский хребет рисуется перед нами как громадная менделеевская таблица, положенная поперек простирающихся пород. Ось хребта и таблицы приходится на тяжелые зеленые породы платиновых месторождений. В соляном поясе знаменитого Соликамска и в районах Эмбы – ее крайние группы.

Разве это не чудесное подтверждение глубочайших и самых отвлеченных идей? Я думаю, вы сами уже догадались, что в менделеевской таблице элементы расположены не случайно, они расположены по сходству своих свойств. И чем ближе элементы друг к другу, тем ближе они стоят и в менделеевской таблице.

То же самое и в природе. Не случайно разбросаны значки различных полезных ископаемых на наших геологических картах. Не случайно

встречаются вместе в природе осмий, иридий и платина или сурьма и мышьяк.

Те же законы сходства, химической близости атомов определяют поведение элементов в земных недрах. И великая менделеевская таблица действительно является самым важным орудием, при помощи которого человек открывает богатства недр, отыскивает полезные металлы и создает с их помощью свое хозяйство и промышленность!

Перенесемся в далекое прошлое Урала. Из глубин поднимаются расплавленные тяжелые магмы; они состоят из темных пород, богатых магнием и железом. К ним примешиваются руды хрома, титана, кобальта, никеля; к ним присоединяются металлы платиновой группы: рутений, радий, палладий, осмий, иридий и платина.

Так начался первый этап истории Урала, та глубинная цепь дунитовых и змеевиковых пород<sup>[16]</sup>, которые составляют центральный остов Уральского хребта, протягивающийся на север до островов Арктики и погребенный на юге под ковыльными степями Казахстана. На таблице Менделеева – это центральная часть.

В процессе разделения расплавов отделяются более легкие летучие вещества, и в сложной смене горных пород, из которых слагается современный Урал, в конце его вулканической деятельности кристаллизуются в глубинах светлые граниты. Это тот серый гранит, который так хорошо известен всем уральцам, особенно по восточному склону Урала. Белыми жилами пронизывают гранит скопления чистого кварца, мощные пегматитовые жилы врезаются своими ветвями в его наружные участки, проникая и в боковые породы. В этих процессах накапливаются летучие элементы – бор, фтор, литий, бериллий, редкие земли – и образуются уральские самоцветы и руды редких металлов. В периодической системе Менделеева – это левое поле таблицы.

Но как в это время, так и позднее поднимались кверху горячие растворы. Они выносят с собой тугоплавкие, подвижные, легкорастворимые соединения цинка, свинца, меди, сурьмы, мышьяка, с ними увлекаются также золото и серебро.

Длинной цепью по восточному склону Урала тянутся эти рудные месторождения, то образуя большие скопления – линзы, то ветвящиеся жилы и кусты жил.

На таблице Менделеева – это правое поле рудных элементов.

Но вот окончилась вулканическая деятельность, прекратились те сжатия, которые подняли Уральские хребты, перемещая их гребни с востока на запад, открывая то тут то там выход вулканическим породам и горячим водам жил.

Начался длительный период разрушения. В течение сотен миллионов лет разрушались Уральские горы, размывались горные породы. Все, что труднорастворимо, оставалось на месте, остальное переходило в

раствор, уносилось водами, переносилось в моря и озера. Омывавшее с запада Урал великое пермское море накапливало в себе эти вещества. Море стало высыхать, от него отделялись заливы, озера, лиманы, а соли садились на дно.

Так скопились соли натрия, калия, магния, хлора, брома, бора и рубидия. На таблице Менделеева – это верхние и левые клетки.

А там, где были горные вершины Урала, осталось лишь то, что не подчинилось химическому воздействию воды.

В тропическом климате мезозоя десятки миллионов лет росла кора из разрушенных горных пород. Железо, никель, хром и кобальт, собираясь в этой коре, образовали те богатые месторождения бурых железняков, которые положили начало промышленности никеля на Южном Урале.

В районах разрушения гранитов собирались кварцевые россыпи, в них накапливались золото, вольфрам, самоцветы, сохраняясь и собираясь в шлихах и песках.

Так постепенно умирал Урал, одеваясь почвенным покровом, и лишь по временам к нему подходили нахлынувшие с востока воды, размывая его уже заросшие холмы и снова отлагая по берегам марганцевые и железные руды.

Менделеевская таблица оказалась скрытой под тайгой полярного Урала, под ковыльными степями Казахстана. Нужен был приход новой, передовой техники, для того чтобы снять древнюю кору с великого Уральского хребта, чтобы, шаг за шагом открывая здесь отдельные элементы менделеевской таблицы, сделать все богатства недр этих грандиозных горных цепей доступными для нашей промышленности.

## ***Атом разрушается. Уран и радий***

Как мы видели из предыдущих глав, в основе учения о геохимии лежит атом, что значит по-гречески «неделимый». Из сочетания девяноста двух видов атомов, отвечающих девяноста двум различным элементам, и построена вся окружающая нас природа<sup>[17]</sup>.

Что же представляет собой эта мельчайшая «неделимая» частица вещества, действительно ли она «неделима», действительно ли все известные виды атомов существуют независимо друг от друга и не проявляют единства строения?

Понятие атома как материально неделимого шарика лежало в основе химии и физики. «Неделимый» атом вполне объяснял физические и химические свойства вещества, и поэтому физики и химики, хотя и подозревали о сложном строении атома, не особенно стремились раскрыть его.

И только когда знаменитый французский физик Анри Беккерель в 1896 году обнаружил неизвестное до того явление испускания ураном каких-то невидимых лучей, а супруги Кюри нашли новый элемент – радий, у которого это явление было выражено неизмеримо ярче, стало ясно, что атом имеет весьма сложную структуру. Сейчас, после блестящих работ Марии Склодовской-Кюри, Резерфорда, Бора и других, картина строения атома выяснилась достаточно детально. Мы знаем не только из каких простейших частиц состоит атом, но знаем и их размеры, вес, взаимное расположение и силы, которые их связывают.



Мария Склодовская-Кюри (1867–1934)

Как мы уже говорили, в центре атомов находятся состоящие из протонов и нейтронов атомные ядра.

Если мы будем в периодической системе Д. И. Менделеева постепенно переходить от более легких химических элементов к тяжелым, то

увидим, что ядра атомов легких элементов состоят из приблизительно равного числа протонов и нейтронов (это нетрудно видеть из того, что атомный вес элементов в начале периодической таблицы численно равен или близок к удвоенному порядковому номеру элемента).

При переходе к более тяжелым химическим элементам число нейтронов в ядрах атомов начинает преобладать над числом протонов в них. Наконец, избыток нейтронов над протонами делается значительным, и ядра атомов становятся неустойчивыми. Начиная с порядкового номера 84, все ядра атомов химических элементов являются образованиями неустойчивыми и соответствующие элементы – радиоактивными.

Радиоактивность – это свойство атомов самопроизвольно распадаться, превращаясь в атомы других элементов, с выделением больших количеств энергии в форме трех различных типов излучений.

Первый – альфа-лучи ( $\alpha$ -лучи), или поток быстро несущихся материальных частиц, обладающих двойным положительным электрическим зарядом; каждая альфа-частица обладает массой, в четыре раза большей массы атома водорода, и представляет собой ядро атома гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов. Это ядро настолько устойчиво, что в атомах тяжелых элементов оно как бы содержится в готовом виде и вылетает в форме альфа-частицы при радиоактивном распаде ядер. Испустив альфа-частицу, исходное ядро теряет два протона. Но число протонов в ядре равняется положительному заряду атомного ядра, то есть номеру элемента в периодической системе Д. И. Менделеева. Поэтому при испускании альфа-частицы вместо исходного ядра возникает ядро другого элемента, расположенного в периодической системе на две клетки левее.

Второй – бета-лучи ( $\beta$ -лучи), или бета-частицы, – поток электронов, несущихся с огромными скоростями. Каждый электрон несет один отрицательный, элементарный, то есть наименьший из существующих, электрический заряд и обладает массой в 1840 раз меньшей, чем атом водорода.

В ядрах атомов не существует свободных электронов, и поэтому появление отрицательных бета-частиц вызвано превращением одного сорта ядерных «кирпичей», нейтронов, в другой сорт – протоны. Поскольку нейтрон электронейтрален, а протон положителен, каждое такое превращение сопровождается испусканием электрона, вылетающего из ядра. Стало быть, при бета-распаде число протонов в ядре увеличивается на единицу, и получается другой химический элемент, расположенный в периодической системе на одну клетку правее исходного.

Третий тип лучей образуют гамма-лучи ( $\gamma$ -лучи), представляющие собою излучение, подобное рентгеновским лучам, но с еще более короткой длиной волны.

Если мы поместим в небольшую стеклянную трубочку около грамма соли радия, запаяем эту трубочку и будем за ней наблюдать, то мы сможем обнаружить все основные явления, сопровождающие радиоактивный распад.

Прежде всего, если использовать прибор, при помощи которого можно измерять небольшие разности температуры, мы без труда обнаружим, что температура трубочки с солью радия немного выше температуры окружающей среды.

Получается такое впечатление, как будто внутри соли радия спрятан непрерывно действующий нагревательный прибор. На основании этого наблюдения можно сделать важное заключение, что при радиоактивном распаде или разрушении атомных ядер происходит непрерывное выделение больших количеств энергии. Опыт показывает, что 1 г радия, распадаясь, выделяет в один час 140 малых калорий тепла или, при полном своем превращении до свинца (на что потребуется около двадцати тысяч лет), выделит 2,9 миллиона больших калорий тепла, то есть столько, сколько получается при сжигании полутонны каменного угля.

Оставим трубку с радием лежать и будем при помощи маленького насоса откачивать заключающийся в ней воздух, переводя его осторожно в другую трубку, из которой предварительно был выкачан воздух. Трубку запаяем. Окажется, что в темноте она светится зеленовато-голубоватым светом точно так же, как светится трубка с солью радия.

Это явление обусловлено возникновением нового радиоактивного вещества, родившегося из радия. Вещество это – газ. Он получил название – радон ( $Rn$ ).

Количество радона в трубке возрастает сперва быстро, затем все медленнее и, наконец, становится почти постоянным, так как скорость распада радона становится равной скорости его появления.

Радиоактивность можно обнаружить, поднося трубки к заряженному электроскопу. Радиоактивные излучения ионизируют воздух, делают его проводником электричества, и электроскоп разряжается.

Если мы будем день за днем следить за тем, каково действие трубки с радоном на заряженный электроскоп, то без труда обнаружим, что с течением времени действие это ослабевает. Через 3,8 суток сила действия упадет наполовину, а по прошествии нескольких десятков дней трубка при приближении ее к заряженному электроскопу никакого действия на него оказывать не будет. Зато если мы пропустим через такую трубку электрический разряд и будем наблюдать вызванное этим разрядом свечение газа в спектроскоп, то обнаружим появление спектра нового газа, которого ранее в трубке не было. Новый появившийся в трубке газ – гелий. Наконец, если мы после многих лет хранения в стеклянной трубке соли радия тщательно удалим ее из трубки и затем при помощи чувствительных приемов анализа испытаем поверхность

внутренних стенок трубки на присутствие посторонних химических элементов, мы сможем обнаружить, что в пустой трубке присутствует в ничтожных количествах металл свинец.

Из одного грамма металлического радия путем распада его атомов образуется в год  $4 \times 10^{-4}$  г свинца с массой атома, равной 206, и  $172 \text{ мм}^3$  газообразного гелия.

Итак, в результате радиоактивного распада радия получаются один за другим новые радиоактивные элементы, пока, наконец, не образуется нерадиоактивный свинец. На этом дальнейшее превращение прекращается. Сам же радий, в свою очередь, является лишь промежуточным звеном в длинной цепи продуктов превращения урана.

Ряд элементов, получающихся в результате распада радиоактивных элементов, носит название радиоактивного ряда.

Все ядра каждого радиоактивного элемента являются неустойчивыми и вероятность того, что они распадутся в заданный промежуток времени, одинакова. Таким образом, достаточно большой образец радиоактивного вещества, содержащий многие миллионы атомов, всегда распадается с одной и той же постоянной скоростью, независимо от каких бы то ни было химических и физических воздействий.

Было доказано, что различные внешние физические воздействия на радиоактивное вещество, начиная от температуры жидкого гелия, близкой к абсолютному нулю, до температур в несколько тысяч градусов, давления в несколько тысяч атмосфер и электрические разряды высокого напряжения, никакого влияния на распад его не оказывают.

Скорость, с какой радиоактивное вещество распадается или превращается, обыкновенно выражается через период полураспада  $T$ , или время, необходимое для того, чтобы половина всех первоначально присутствующих атомов вещества успела распастись. Эта величина, очевидно, характерна и постоянна для каждой разновидности неустойчивых атомов, то есть для каждого данного радиоактивного элемента.

Периоды полураспада радиоактивных элементов лежат в очень широком интервале – от долей секунды для наиболее неустойчивых атомных ядер до миллиардов лет для слегка неустойчивых, к которым относятся, например, уран и торий. Часто дочернее ядро, подобно своему радиоактивному «родителю», само является неустойчивым радиоактивным и распадается, пока, наконец, через несколько последовательных поколений ядер не образуется устойчивое ядро.

В настоящее время известны три таких естественных радиоактивных ряда, или семейства: ряд урана-радия, начинающийся с изотопа урана с массой атома 238, ряд урана-актиния, начинающийся с другого изотопа урана с массой 235, и ряд тория. Конечными устойчивыми и далее не разрушающимися продуктами каждого из этих рядов, образующимися

после десяти-двенадцати последовательных превращений, являются ядра атомов изотопов свинца, соответственно с массами 206, 207, 208. Кроме свинца, устойчивыми продуктами превращений в каждом из указанных выше радиоактивных рядов являются лишившиеся своей кинетической энергии и заряда альфа-частицы, ставшие атомами гелия.

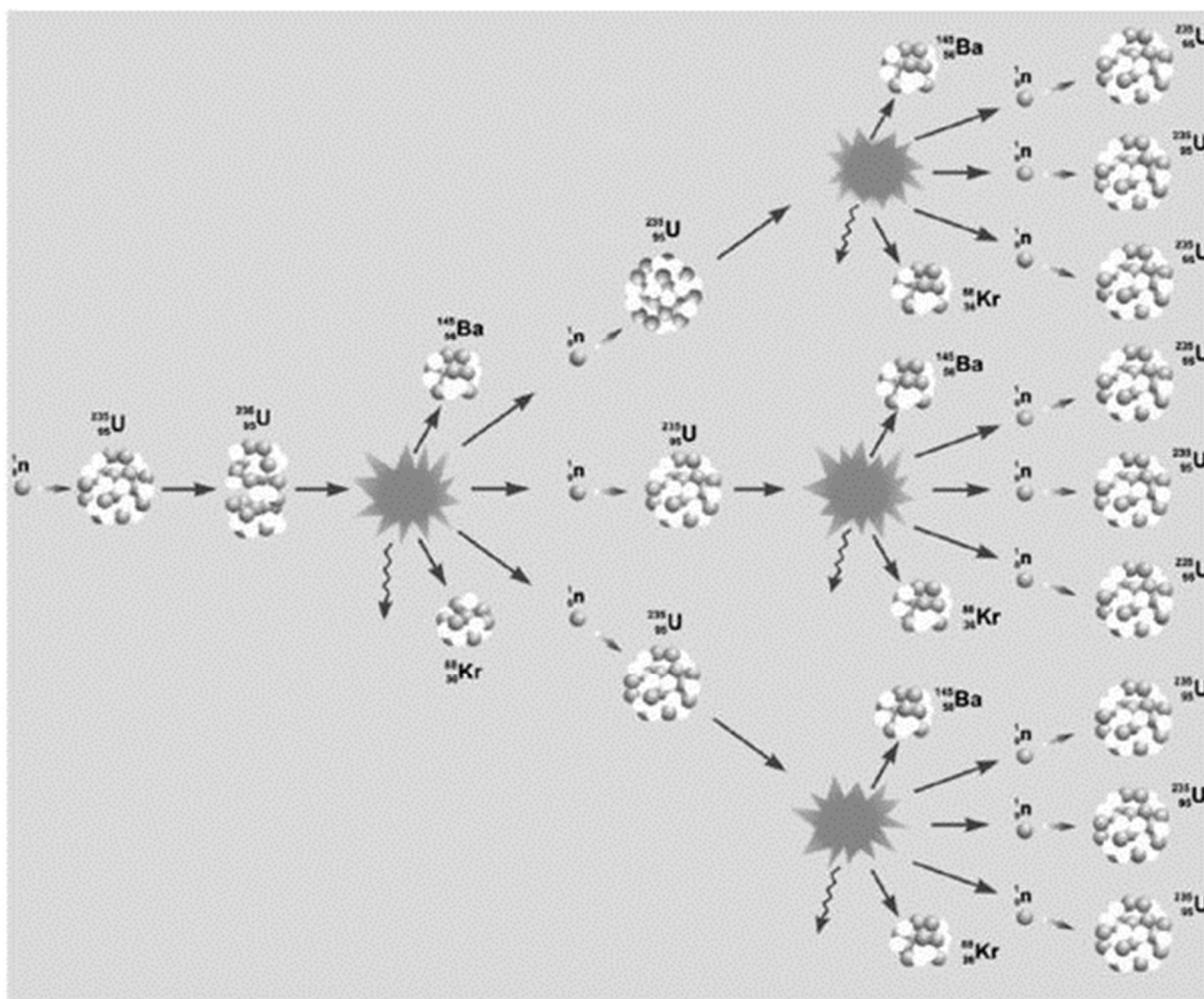


Схема саморазвивающейся цепной реакции в ядрах атома урана-235

При непрерывно протекающем на земле радиоактивном распаде атомов урана, тория и радия происходит постоянное выделение тепла.

Если подсчитать количество тепла всех указанных элементов, выделяемое при распаде, то окажется, что, сами того не подозревая, мы давно уже пользуемся этим теплом, так как за его счет наш земной шар заметно подогревается.

Точно так же оказывается, что добываемый для наполнения дирижаблей и аэростатов газ гелий образуется за счет радиоактивного распада содержащихся в земле атомов урана, тория и радия. Подсчитано, что таким путем в земле за время ее существования

образовались огромные количества газа гелия, исчисляемые многими сотнями миллионов кубических метров.

Непрерывно протекающий распад содержащихся в земле атомов урана, тория и радия интересен для нас не только как источник постоянного тепла и как источник образования промышленных запасов химических элементов, но и как естественный часовой механизм, хронометр, по которому мы можем отсчитывать время, протекшее с момента образования на Земле тех или других горных пород и, наконец, самой Земли как твердого тела.

Каким же образом атомы урана, тория и радия и их распад могут быть использованы как часы для определения геологического времени? А вот каким. Мы с вами видим, что скорость, с которой происходит распад радиоактивных атомов, не зависит от химических и физических воздействий и остается все время строго постоянной. С другой стороны, при радиоактивном распаде образуются устойчивые и далее не изменяющиеся атомы элементов гелия и свинца, количество которых с течением времени будет все более и более накапливаться.

Зная, какое количество гелия и свинца образуется за счет радиоактивного распада атомов из одного грамма урана или тория в течение одного года, и определив, сколько урана и тория содержится в каком-нибудь минерале и сколько в том же минерале содержится гелия и свинца, из отношения гелия к урану и торию, с одной стороны, и из отношения свинца к урану и торию – с другой, мы получим время в годах, которое прошло с момента образования этого минерала.

Действительно, в момент своего образования минерал содержал в своем составе только атомы урана и тория, никаких атомов гелия и свинца в нем не было; затем за счет распада атомов урана и тория в минерале стали появляться и постепенно накапливаться атомы гелия и свинца.

Такой содержащий атомы урана и тория минерал можно уподобить песочным часам, действие которых вы все, наверное, видели. Напомню вам, как устроены такие часы. Они состоят из двух сообщающихся друг с другом сосудов; в одном из них насыпано определенное количество песка. В момент, когда часы пускают, их закрепляют и дают песку под действием силы тяжести медленно высыпаться из верхнего сосуда в нижний.

Обыкновенно насыпается такое количество песка, чтобы оно полностью пересыпалось в нижний сосуд в заданный промежуток времени – 10 минут, 15 минут. Песочными часами пользуются для отсчетов постоянных промежутков времени. Однако ими можно было бы пользоваться и для отсчетов любых промежутков времени. Для этого пришлось бы или взвесить количество песка, или разметить сосуды на равные по объему части и измерять объемы насыпавшегося песка. Так как песок под действием тяжести высыпается с определенной скоростью, то можно определить, сколько песка по объему или по весу высыпается

из верхнего сосуда в нижний в течение одной минуты, и по объему высыпавшегося песка судить, сколько минут прошло с момента, когда мы пустили часы.

Нечто подобное происходит с минералом, содержащим атомы урана и тория. Он уподобляется верхнему сосуду, содержащему определенное количество песка, только роли отдельных песчинок выполняют атомы урана и тория. Они тоже с определенной скоростью превращаются в атомы гелия и свинца, и, как в случае с песочными часами, атомы распада накапливаются в прямой зависимости от протекшего до настоящих дней времени существования радиоактивного минерала.

Количество оставшегося урана определяем прямым анализом; количество распавшихся атомов урана и тория мы вычисляем по количеству образовавшихся из них гелия и свинца. Эти данные позволяют найти отношение урана к количеству образовавшихся свинца и гелия, а следовательно, вычислить время, в течение которого продолжался распад. Таким путем ученым удалось определить, что на Земле встречаются минералы, с момента образования которых прошло почти два миллиарда лет. Таким образом, теперь мы знаем, что Земля наша очень древняя старушка, и ей, во всяком случае, больше двух миллиардов лет от роду<sup>181</sup>.

В заключение этой главы мне хотелось бы рассказать вам еще об одном явлении, которое открыто недавно и которому суждено сыграть большую роль в жизни людей. Мы с вами видели, что все ядра атомов тяжелых химических элементов, начиная с 84-го порядкового номера в периодической системе Д. И. Менделеева, – это ядра неустойчивые, или обладающие свойством радиоактивности. Оказывается, что ядро атома делается неустойчивым, если в нем сильно нарушается некоторое определенное соотношение между протонами и нейтронами. При большом избытке нейтронов в ядре оно делается неустойчивым.

Как только ученые подметили это свойство ядер химических элементов, они вскоре нашли средство искусственно менять соотношение между протонами и нейтронами в ядрах химических элементов и, таким образом, по своему желанию превращать устойчивые разновидности ядер атомов в неустойчивые, делать химические элементы искусственно-радиоактивными. Как это можно сделать?

Для этого нужно найти какой-нибудь снаряд, размер которого не превосходил бы размер ядра атома, сообщить ему очень большую энергию и попасть им в ядро атома.

Таковыми снарядами атомных размеров с очень большой энергией являются альфа-частицы, испускаемые радиоактивными веществами. Ими прежде всего и воспользовались ученые, чтобы искусственно разрушать ядро атома. Впервые это удалось сделать известному английскому физическому Эрнесту Резерфорду, который, действуя в 1919 году

альфа-лучами на ядра атомов азота, обнаружил, что при этом из них вылетают протоны.

Пятнадцать лет спустя, в 1934 году, молодая чета французских ученых Ирэн и Фредерик Жолио-Кюри, действуя альфа-частицами элемента полония на алюминий, обнаружили, что алюминий под действием альфа-лучей не только испускает лучи, в состав которых входят нейтроны, но и по окончании облучения альфа-частицами сохраняет в течение некоторого времени радиоактивные свойства, испуская бета-лучи.

Путем химического анализа супруги Жолио-Кюри установили, что искусственно-радиоактивным при этом является не сам алюминий, а атомы фосфора, образовавшиеся из атомов алюминия под действием альфа-частиц.

Таким образом были получены первые искусственно-радиоактивные элементы и была открыта искусственная радиоактивность. А вскоре, испробовав разные приемы для получения искусственно-радиоактивных элементов, стали действовать на ядра химических элементов вместо альфа-частиц нейтронами, гораздо легче проникающими в ядра атомов, чем альфа-частицы, которые заряжены положительно и потому при приближении к атому отталкиваются ядром.

Эти силы отталкивания у ядер атомов тяжелых химических элементов настолько велики, что энергии альфа-частиц не хватает для того, чтобы их преодолеть, и альфа-частица до ядра атома добраться не может. Нейтроны же как частицы, не несущие никакого электрического заряда, ядрами не отталкиваются и легко в них проникают. Действительно, путем воздействия нейтронов великому итальянскому физическому Э. Ферми, а вслед за ним и другим ученым удалось получить искусственно-радиоактивные неустойчивые разновидности ядер атомов для всех химических элементов.

В ходе этих исследований немецкими учеными О. Ханом и Ф. Штрассманом в 1939 году было обнаружено, что при воздействии нейтронами малой энергии на самый тяжелый химический элемент – уран – ядра атомов урана претерпевают новый, ранее неизвестный тип распада, при котором ядро атома делится на две приблизительно равные половинки. Эти половинки сами являются неустойчивыми разновидностями ядер атомов известных нам химических элементов, находящихся в середине таблицы Д. И. Менделеева.

Год спустя, в 1940 году, молодые советские физики К. А. Петржак и Г. Н. Флеров открыли, что деление урана происходит и самопроизвольно, то есть что в природе существует еще один вид радиоактивного распада – спонтанное (самопроизвольное) деление, которое, однако, случается еще реже, чем обычный радиоактивный распад урана.

Если путем обыкновенного радиоактивного распада половина всех наличных атомов урана распадается через четыре с половиной миллиарда лет, то путем деления атомов урана период полураспада

равен 8 тысячам триллионов лет, и, следовательно, этот второй тип распада случается в два миллиона раз реже, но зато он сопровождается гораздо большим выделением энергии, чем обычный радиоактивный распад.

При спонтанном делении урана тоже происходит образование некоторых устойчивых ядер элементов, постоянно накапливающихся в природе, наряду с образованием неустойчивых и далее распадающихся ядер.

Так, если при обычном радиоактивном распаде происходит образование и постепенное накопление атомов гелия, то при новом типе радиоактивности урана происходит образование и постепенное накопление атомов ксенона или криптона.

Путем бомбардировки изотопов урана нейтронами и заряженными частицами в 1950–1957 годах удалось получить ряд новых заурановых элементов – нептуний с атомным номером 93, плутоний – 94, америций – 95, кюрий – 96, берклий – 97, калифорний – 98, эйнштейний – 99, фермий – 100, менделевий – 101 и nobелий – 102, которые нашли свое место в таблице Менделеева.

Огромная роль таблицы Менделеева в установлении природы и предсказании свойств этих элементов была подчеркнута одним из ученых, синтезировавшим элементы № 94–101, американцем Г. Сиборгом тем, что он дал элементу № 101 имя гениального русского ученого.

Но самым интересным и важным свойством деления тяжелых ядер явилось то, что этим новым типом распада атомов можно управлять по нашему желанию.

Замечательно в этом открытии то, что человеческая техника не только вызывает эти бурные реакции, освобождающие чудовищную энергию, но и может на них воздействовать, задерживать или ускорять, заменять бурные взрывы более медленным и более спокойным выделением могучей энергии. И та блестящая мысль о внутриатомной энергии, которая еще только зарождалась в конце 1890-х годов в уме Пьера Кюри, открывшего вместе со своей женой радий, мысль, которую решались высказывать на пороге нового столетия лишь немногие ученые, сейчас стала реальностью наших дней.

Когда ученые в 1903 году рисовали картину счастливого будущего человечества, обладающего бесконечными запасами нужной для его жизни энергии, тогда эта идея казалась только красивой фантазией и не находила своего подтверждения ни в реальных фактах природы, ни в завоеваниях тогдашней техники. А вот сейчас эта мечта превращается в реальность.

Не удивительно, что металл уран сделался за последние годы объектом исключительного внимания во всех странах. Раньше это был просто отброс радиевого производства. Радиевые фирмы в Бельгии, Канаде,

Америке и в других странах искали применения для этого металла после его выделения на больших радиевых заводах. Но настоящего применения не находилось, цены на него были низкие, и он шел за бесценок на окраску фарфора, кафелей и для получения дешевых зеленых стекол.

Теперь же не радий, а сам металл уран сделался объектом поисков и разведок.

Пусть требуется еще много трудов и усилий для овладения этой проблемой, пусть даже эта энергия будет вначале дороже, чем энергия, получаемая в паровых котлах, но зато какие грандиозные возможности использования этих практически вечных двигателей открываются перед человечеством!

В руках человечества оказывается новый вид энергии, более могучий, чем все, что люди знали до сих пор.

Сейчас ученые всего мира напряженно работают, чтобы возможно полнее овладеть могучей силой, скрытой в ядрах урана.

Но эта сила уже далеко не является пределом человеческих дерзаний. Наука шагает в наши дни семимильными шагами. И всего через несколько лет после высвобождения атомной энергии в процессах деления тяжелых ядер стала реальной новая – подлинно ни с чем не соизмеримая – возможность использования атомной энергии «сплавления» легких ядер в ядра гелия. Ближайшие годы должны дать возможность использовать новое атомное горючее, а именно... воду. В стакане обыкновенной воды скрыта энергия в 5000 киловатт-часов, энергия же превращения в гелий всех содержащихся в гидросфере нашей планеты ядер тяжелого изотопа водорода – дейтерия – выражается астрономической цифрой в  $7 \times 10^{24}$  (то есть семеркой с двадцатью четырьмя нулями) киловатт-часов.

Настанет время, и атомная энергия сделается обыденной. Мы будем иметь электростанции, помещающиеся в чемодане, моторы мощностью в несколько лошадиных сил и размером не больше карманных часов, ракетные двигатели с запасом энергии на несколько лет, самолеты, которые смогут летать месяцами без посадки.

Наступает век подчинения атомной энергии, век невиданного могущества человека.

И в свете новых идей о строении атома периодический закон Д. И. Менделеева не потерял своего значения.

Более того, для познания внутриатомных явлений он послужит такой же путеводной звездой, как и для познания химических связей между атомами. Изучение строения атома показало, что менделеевский закон является не только одним из законов химии, но и одним из величайших законов природы.

## ***Атом и время***

Трудно себе представить более простое и вместе с тем более сложное понятие, чем время. Старая финская поговорка говорит, что «ничего нет в мире замечательнее, сложнее и непобедимее времени». А один из величайших философов древнего мира, Аристотель, писал за четыре столетия до нашей эры, что среди неизвестного в окружающей нас природе самым неизвестным является время, так как никто не знает, что такое время и как им управлять.

Уже на ранних ступенях культуры человека занимала мысль о начале времени, о конце мира, о том, когда создавалась окружающая нас природа, каков возраст Земли, планет и звезд и как долго будет светить на небе солнце.

По древним персидским сказаниям, мир существует всего лишь двенадцать тысяч лет.

Астрологи Вавилона, гадавшие по небесным светилам, находили, что мир очень стар, что ему больше двух миллионов лет. А Библия говорила, что прошло всего шесть тысяч лет с того момента, когда в шесть дней и шесть ночей, по воле Бога, был создан мир.

Проблемой времени в течение многих тысячелетий продолжали заниматься величайшие умы, и на смену древним сказаниям и фантазиям астрологов постепенно стали приходить точные методы определения возраста нашей Земли.

Первым сделал попытку вычислить возраст Земли астроном Галилей в 1715 году, а затем лорд Кельвин, который в 1862 году вычислил возраст Земли, исходя из теории ее охлаждения, и получил казавшуюся тогда грандиозной цифру в сорок миллионов лет.

Потом на смену пришли геологические методы. В Швейцарии, Англии, Швеции, России и Америке геологи стали подсчитывать, сколько же времени потребовалось нашей Земле, чтобы образовать грандиозные толщи осадочных пород, мощность которых свыше ста километров.

Оказалось, что реки каждый год выносят не менее десяти миллионов тонн вещества, смывая его с континентов, так что наши материки теряют каждые 25 тысяч лет слой земли толщиной в среднем один метр. Так, постепенно, изучая деятельность воды и ледников, осадки на земле и в океанах и полосатые ледниковые глины, геологи пришли к выводу, что история земной коры не может уложиться в сорок миллионов лет. В 1899 году английский геофизик Джоли определил возраст нашей Земли в триста миллионов лет.

Но эти вычисления не нравились ни физикам, ни химикам, ни самим геологам.

Разрушение материков шло далеко не так правильно, как думал Джоли. Периоды осадков сменялись бурными взрывами вулканов,

землетрясениями, поднятиями горных хребтов. Уже накопившиеся осадки расплавились и размывались.

Подсчет Джоли не удовлетворял точных исследователей, которые хотели найти настоящие часы для определения времени прошлого и для определения возраста земной коры.

И вот на смену геологам пришли химики и физики. Ими наконец были найдены часы – часы постоянные, вечные; они не созданы мастером, не имеют пружин, которые приводили бы их в движение; их не нужно заводить. Такими часами оказался разрушающийся атом радиоактивных элементов.

Мы уже видели в предыдущем очерке, что весь мир наполнен разрушающимися атомами, что в незаметном, но великом процессе распадаются атомы урана и тория, радия и полония, актиния и многих десятков других элементов. Это разрушение идет с постоянной скоростью и, как было показано выше, не может быть ускорено или замедлено ни высокими температурами в тысячи градусов, ни самыми низкими температурами, предельно близкими к абсолютному нулю, ни огромными давлениями. Никакие обычные средства не могут изменить этот строгий, неизменный процесс распада некоторых атомов, совершающийся в природе.

Правда, современная техника сумела найти могучие средства, при помощи которых удается разрушать и созидать атомы. Но на Земле этих условий нет, и неизменная скорость распада тяжелых элементов сохраняется миллионы и миллиарды лет.

Всегда и всюду во всем окружающим нас мироздании распадаются атомы урана, радия, тория и одновременно образуются определенные количества атомов газа гелия и устойчивых, безжизненных атомов свинца. Эти два элемента природы – гелий и свинец – создали новые часы. И вот впервые в истории человечества время удалось измерить настоящим мировым стандартом вечного характера!

Какая поразительная и вместе с тем трудная для понимания картина! Несколько сотен различных атомов наполняют мироздание своими сложными электромагнитными системами.

Излучая энергию, они скачками видоизменяются, переходя из одного вида в другой: одни из создающихся вновь систем жизненны и упорно сохраняются – очевидно, для нас не доступна огромная длина периодов их превращения; другие существуют тысячи миллионов лет, медленно излучая энергию, проходя через сложные ряды распада; третьи живут годами, днями, часами; жизнь четвертых измеряется секундами и долями секунды...

Подчиняясь закону преобразования атомных систем, элементы наполняют природу, но время регулирует законы их количественного

распространения, время распределяет их по мирозданию, создавая сложность миров нашей земли и космическую жизнь Вселенной.

Медленно, вековечно текут процессы мироздания; умирают быстро разлагающиеся тяжелые атомы, под действием альфа-лучей распадаются другие, создаются третьи, более устойчивые кирпичи мироздания, накапливаются постепенно конечные продукты распада – нерадиоактивные элементы.

Уже установлено преобладание на Солнце элементов, устойчивых против альфа-лучей; земная поверхность на 90 % состоит из элементов с числом электронов, кратным двум или четырем, то есть именно тех, которые наиболее устойчивы против разрушительной деятельности гамма-лучей и космических лучей. Самые устойчивые из них, просто и плотно построенные, составляют наш неорганический мир; менее устойчивые (как калий и рубидий) участвуют в жизненных процессах, своим распадом помогая организмам бороться за жизнь. Быстро распадающиеся (радон, радий) губят эту жизнь, разрушая себя. В одних звездных системах только развивается процесс распада – это довольно зрелая система нашего Солнца, в других – в звездных туманностях – он только начинается, в третьих – в темных угасших телах – уже бесконечно медленно идут затухающие процессы распада. Время определяет состав, природу и сочетания элементов в течение космической истории.



«Часы», измеряющие возраст Земли. Если мы условно примем продолжительность истории Земли от начала древнейшей архейской эры до наших дней за 24 часа и соответственно уменьшим продолжительность всех эр, вычисленную по радиоактивному процессу, то на наших часах докембрий будет продолжаться 17 часов, палеозой – 4 часа, мезозой – 2 часа, кайнозой – 1 час. Человек появляется на арене жизни за пять минут до полуночи

Физики и химики подсчитали, что 1000 г металла урана через 100 миллионов лет дадут 13 г свинца и 2 г гелия.

Через 2000 миллионов, или 2 миллиарда лет, количество свинца уже будет 225 г, то есть четверть всего урана перейдет в свинец. А атомов летучего гелия накопится уже 35 г. Но процесс продолжается, и через 4000 миллионов, или 4 миллиарда, лет свинца накопится почти 400 г, количество гелия достигнет 60 г, а первичного урана останется только половина – 500 г.

Продолжим эти рассуждения: возьмем не 4 миллиарда лет, а сотню миллиардов лет, – тогда почти весь уран распадется и превратится в свинец и гелий. Урана на Земле почти совсем не останется, а вместо него в природе будут рассеяны всюду тяжелые атомы свинца, и атмосфера обогатится запасом газа Солнца – гелия.

И вот, на основе этих данных, геохимии и геофизики за последние годы построили шкалу абсолютного летоисчисления времени геологической эволюции земного шара.

Эти новые часы установили, что возраст нашей планеты, вероятно, превышает 5 тысяч миллионов лет, то есть примерно 5 миллиардов лет должны отделять нас от того момента космической истории, когда образовались планеты нашей солнечной системы и среди них Земля.

Более двух миллиардов лет отделяют нас от появления твердой земной коры – этого второго важнейшего момента в истории Земли, начала ее геологической истории. От зарождения жизни прошло не менее одного миллиарда лет. Примерно за 500 миллионов лет до наших дней положено было начало отложениям знаменитой синей кембрийской глины, встречающейся в окрестностях Ленинграда.

В течение первой эпохи – трех четвертей всей геологической истории Земли – много раз расплавленные массы прорывались из глубин на поверхность и нарушали спокойствие первой, еще тонкой, но твердой пленки Земли. Расплавленные массы выливались на ее поверхность, пропитывали ее своим горячим дыханием и растворами, сгибали и поднимали ее в виде хребтов.

Наши геохимики и геологи сейчас уже наметили самые древние горные хребты Земли (в Карелии – Беломориды, в Канаде – древнейшие граниты штата Манитоба). Возраст этих хребтов около 1 700 000 000 лет<sup>[19]</sup>.

Потом началась длинная история развития органического мира. Примерно за полмиллиарда лет до нашего времени мощные хребты Каледонии поднялись на севере Европы, за 200–300 миллионов лет образовались хребты Урала и Тянь-Шаня; примерно в течение 25–50 миллионов лет шло образование Альпийских гор, затухали последние пароксизмы вулканов Кавказа, поднимались горные вершины Гималаев.

Затем следует доисторическое время: миллион лет отделяет начало ледниковых эпох; 800 тысяч лет – первое появление человека; 25 тысяч лет – конец последней ледниковой эпохи; 10–8 тысяч лет – начало египетской и вавилонской культур.

Много лет пройдет еще, пока ученые сумеют точно выверить свои замечательные часы. Но метод найден. Одна из загадок времени разгадана, и нет никакого сомнения, что очень скоро в каждом отдельном образце камня химик сумеет прочесть его возраст, определить точное число лет, прошедших с момента его зарождения.

Химик! Мы перестали верить в неизменяемость твоих атомов, все течет, все изменяется, все разрушается и вновь создается, одно отмирает, другое рождается, – так течет история химических процессов мира во времени. Но даже и смерть атома человек сумел превратить в орудие познания мира и сделал из нее эталон времени.

## Химические элементы в природе

### *Кремний – основа земной коры*

#### **Элемент кремний и минерал кремень**

В одной из баллад Жуковского рассказывается, как некий иностранец, приехав в Амстердам, расспрашивал прохожих о том, кому принадлежат магазины, дома, суда и поместья, и на все получал один и тот же ответ: «Кан-нит-ферштан». «Как он богат!» – думал иностранец, завидуя этому человеку и не догадываясь о том, что эти слова означают по-голландски: «не понимаю».

Эта история всегда приходит мне на память, когда рассказывают о кварце. Показывают мне самые разнообразные предметы: прозрачный шар, сверкающий на солнце чистотой холодной ключевой воды, красивый пестрого рисунка агат, яркой игры многоцветный опал, чистый песок на берегу моря, тонкую, как шелковинка, нитку из плавленного кварца или жароупорную посуду из него, красиво ограненные груды кристаллов горного хрусталя, таинственный рисунок фантастической яшмы, окаменелое дерево, превращенное в кремень, грубо обработанный наконечник стрелы древнего человека, и о чем бы я ни спросил, мне ответят: все это состоит из кварца и близких к нему по составу минералов. Все это одно и то же химическое соединение элементов кремния и кислорода.

Кремний имеет условный химический знак Si – силиций. После кислорода он является самым распространенным элементом в природе. В свободном виде он никогда не встречается, а всегда образует соединение с кислородом –  $\text{SiO}_2$ , которое носит название: кремнезем, или окись кремния.

При слове «кремний» обычно чаще всего вспоминаешь кремень – минерал, который многие хорошо знают еще с детства; кремень твердый, дающий горячую искру при ударе о сталь и применявшийся древним человеком для получения огня, а позднее для зажигания пороха в кремневом ружье.

Однако минерал кремень – это не кремний химиков, а лишь одно, и притом не самое важное, его соединение. Сам же кремний – это

замечательный химический элемент, атомы которого широко распространены вокруг нас в природе и в технике.

## **Кремний и кремнезем**

В граните около 80 % кремнезема, или 40 % элемента кремния. Из его соединений состоит большинство твердых горных пород.



Кристаллы дымчатого кварца



Друза горного хрусталя – самой чистой и прозрачной разновидности кварца

Кремний – главная составная часть простой глины. Из него же состоят в основном простой песок речных берегов, толщи песчаников и сланцев.

Не удивительно поэтому, что около 30 % по весу всей нашей земной коры состоит из этого элемента, что до глубины в 16 километров около 65 % приходится на его главное соединение с кислородом  $\text{SiO}_2$ , которое химики называют кремнеземом и которое мы называем чаще всего кварцем. Мы знаем свыше двухсот различных разновидностей природного кремнезема, и больше ста различных названий употребляют минералогии и геологи, перечисляя разные виды этого важнейшего минерала.

Мы говорим об окиси кремния, когда называем кремень, кварц, горный хрусталь, говорим о ней, когда восторгаемся красотой фиолетового аметиста, пестрого опала или красного сердолика, черного оникса или серого халцедона, к нему относятся и красивые разновидности яшмы, и точильный камень, и простой песок. Самые разнообразные названия даются отдельным ее разновидностям, и, может быть, нужна целая наука, чтобы разобраться в соединениях этого замечательного элемента.

Но в природе встречается еще гораздо больше соединений, где наш кремнезем, или кремневая кислота сочетается с окислами других

металлов. При этом получают тысячи новых видов минералов, называемых силикатами.

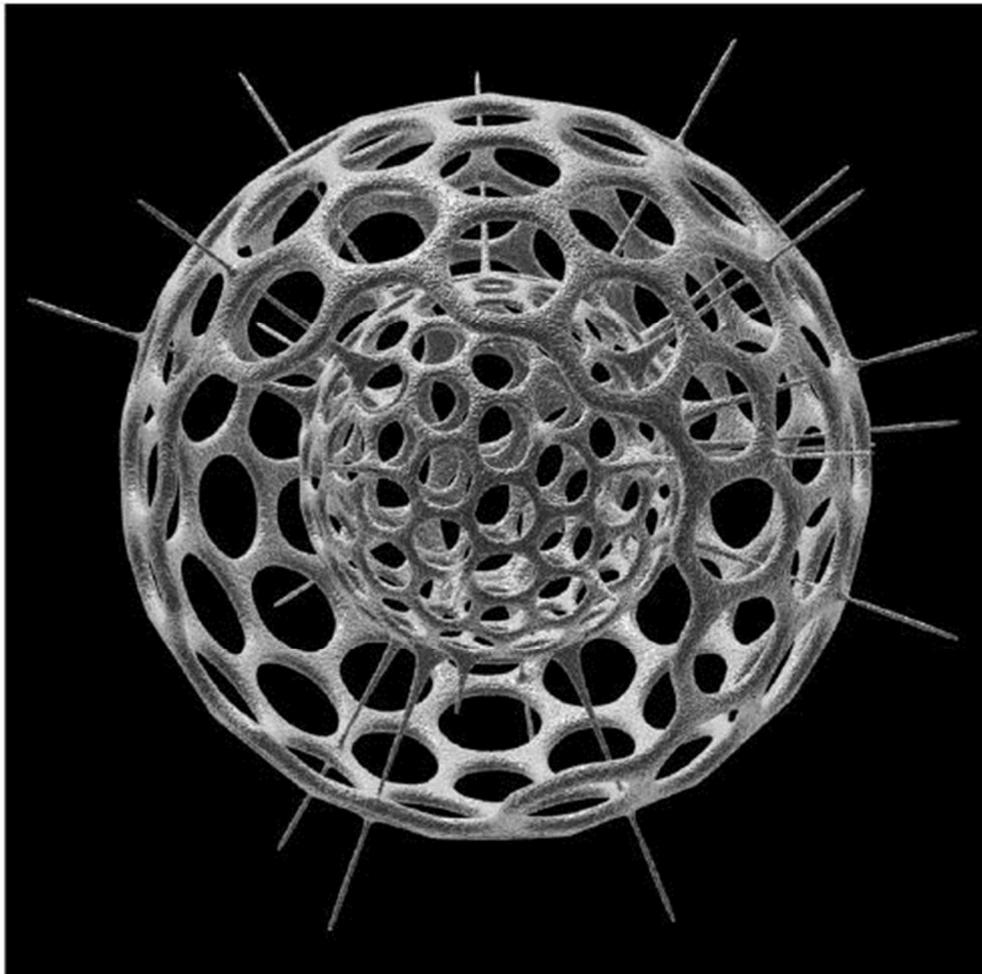
Человек применяет их в своей строительной технике и хозяйстве; важнейшие из них – глины и полевые шпаты – он использует для получения различных сортов стекла, фарфора и фаянса, для отливки оконных стекол, хрусталя для стаканов, для создания величайшей силы строительной техники – прочного, как броня, бетона, одного из основных материалов для полотна новых автострад, мостов и железобетонных перекрытий заводов и фабрик, театров, домов и так далее.

Что может сравниться в руках человека по прочности и разнообразию своих свойств с кремнием и его соединениями?

## **Кремний в животных и растениях**

Но еще раньше, чем хитроумный человек научился пользоваться окисью кремния в своей технике, природа уже широко использовала ее в жизни растений и животных. Там, где надо было построить прочный стебель, прочную соломинку колоса, накапливалось большое количество кремнезема; и мы знаем, как много его содержится в золе простой соломы и в особенности в прочных стеблях таких растений, как хвощи, которые росли в далекие геологические эпохи образования каменного угля, вытягиваясь из болотистых низин на высоту в десятки метров, так же как сейчас вытягиваются к небу богатые кремнеземом трубки бамбука в садах Сухуми или Батуми. В этих растениях природа сумела сочетать механическую прочность с прочностью самого материала.

Прочность стебля имеет огромное практическое значение для колосьев злаков, не позволяя им лечь под ударами ветра или дождя.



Радиолярия

Каждый день на самолетах перевозят цветы и декоративные растения; и чтобы эти цветы не мялись, а стебли их оставались прочными, необходимо почву, в которой они растут, насыщать легкорастворимыми солями кремния. Растения поглощают с водой кремнезем – и их стебли приобретают твердость и прочность.

Но не только для стеблей нужна растениям прочность кремния и его соединений. Мельчайшие растения, диатомовые водоросли, строят свои скелеты из кремнезема; и мы знаем сейчас, что на 1 см<sup>3</sup> породы, образующейся из скорлупок этих водорослей, требуется около 5 000 000 этих маленьких организмов.

Но особенно замечательны те постройки, в которых кремнезем используется животными для создания своего скелета. В разные эпохи развития жизни животные по-разному решали эту задачу прочности. В одних случаях они защищали снаружи свое тело известковой раковиной; в других – они строили эту раковину из фосфата кальция; в третьих – вместо раковины основу животного составлял твердый скелет, и он образовывался из самых разнообразных, но прочных материалов. То это были фосфаты кальция вроде того вещества, из которого образуются

наши кости; то это были тонкие ажурные иглы сернокислых солей бария и стронция; наконец, некоторые группы животных использовали прочный кремнезем и строили из него свои здания. Так строили семейства радиолярий своеобразные нежные скелеты из тонких иголок кремнезема.

Некоторые губки также образуют свои твердые части из кремневых иголок – спикул.

Сотнями различных способов ухитряется природа использовать кремнезем, чтобы из него создать прочную опору для мягких, изменчивых клеток.

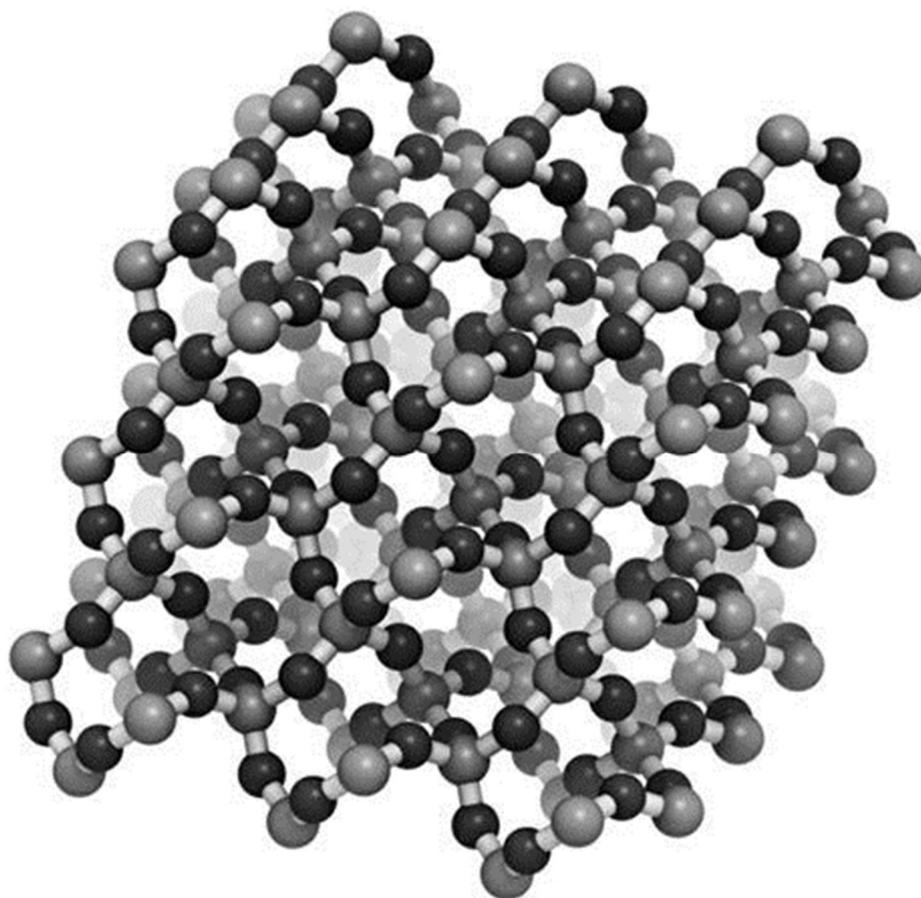
## Почему соединения кремния так прочны?

Наши ученые пытались в последние годы понять – в чем же разгадка замечательной прочности, которую придает кремний скелетам животных и растений, тысячам минералов и горных пород, самым тонким изделиям техники и промышленности?

И когда глаза наших рентгенологов проникли в глубины этих кремневых соединений, открылись замечательные картины, которые помогли найти причину их прочности и загадку их строения.

Оказалось, что кремний находится в них в виде мельчайших заряженных атомов – ионов ничтожных размеров, в два с половиной раза меньше, чем одна стомиллионная часть сантиметра.

Эти маленькие заряженные шарики соединяются с такими же заряженными шариками кислорода, но больших размеров. В результате вокруг каждого из них теснейшим образом располагаются четыре шарика кислорода, соприкасаясь друг с другом, и получается особая геометрическая фигура, которую мы называем тетраэдром<sup>[20]</sup>.



Расположение атомов кремния (белые шарики) и кислорода (черные) в кристалле кварца. Атомы кислорода связывают всегда два атома кремния

Тетраэдры сочетаются друг с другом по различным законам, и из них вырастают сложные большие постройки, которые очень трудно сжимать или сгибать и в которых необычайно трудно оторвать атом кислорода от центрального атома кремния.

Современная наука выяснила, что возможны тысячи таких сочетаний тетраэдров между собой.

Иногда между ними располагаются другие заряженные частицы; в некоторых случаях наши тетраэдры сочетаются в отдельные полосы и пленки, создавая глины и тальки, но всегда и всюду в основе их строения лежит сочетание тетраэдров.

И подобно тому как углерод с водородом образуют сотни тысяч разнообразных соединений в органической химии, так в неорганической химии кремний с кислородом образуют тысячи построек, сложность которых раскрыта рентгеновским лучом.

Кремнезем не только трудно разрушается механически, он не только так тверд, что острый стальной нож не может взять его, но он прочен и химически, так как ни одна кислота, за исключением плавиковой, не

может разрушить или растворить его, и лишь сильная щелочь несколько растворяет его<sup>[21]</sup>, превращая в новые соединения. Он очень трудно плавится и только при 1600–1700° начинает переходить в жидкое состояние.

Таким образом, не удивительно, что кремнезем и его разнообразные соединения являются основой неорганической природы. В наше время возникла целая наука о химии кремния, и на каждом шагу все пути геологии, минералогии, техники и строительства переплетаются с историей этого элемента.

## История кремния в земной коре

Проследим же теперь на отдельных примерах судьбу кремния в земной коре. Он образует с металлами основу расплавленной магмы в глубинах земной коры. И когда эта расплавленная магма застывает в глубинах, образуя кристаллические горные породы – граниты, габбро, или выливается на поверхность в виде лавовых потоков, базальта и других пород, возникают сложные соединения кремнезема, или силикаты. Если же кремния избыток, то появляется и чистый кварц.

Вот они – коротенькие кристаллы кварца в гранитных порфирах или густые дымчатые хрустали в пегматитовых жилах, последних остатках глубинных расплавов Земли. Надо осторожно запечь в хлебе кусочек такого «дымчатого топаза»<sup>[22]</sup> или нагреть его до 300–400°, чтобы получить «золотистый топаз», который и пойдет в огранку на бусинку или брошку.

Вот кварцевые жилы со сплошным белым кварцем<sup>[23]</sup>. Мы знаем, что некоторые из них тянутся на сотни километров. Грандиозные кварцевые жилы стоят, как маяки, на склонах гор Урала. Здесь на много сотен километров протягиваются жилы с пустотами, заполненными прозрачным горным хрусталем. Это и есть те чистые прозрачные разновидности кварца, о которых писал греческий философ Аристотель, давший им название «кристалл» и связывавший происхождение горного хрусталя с окаменелым льдом. Это тот горный хрусталь, который уже в XVII веке добывался из природных «погребов» Швейцарских Альп, причем из отдельных пустот добывалось до 500 тонн горного хрусталя, то есть до 30 вагонов.

Отдельные кристаллы иногда достигают грандиозных размеров. На Мадагаскаре был найден кристалл горного хрусталя, который имел в окружности 8 метров. Японцы выточили из прозрачного горного хрусталя Бирмы огромный шар – больше одного метра в диаметре, который весил почти полторы тонны.

Другой вид кремнезема, совсем не похожий по внешнему виду на тот, о котором мы только что говорили, отлагается из расплавленной лавы, когда горячие пары, насыщенные кремнеземом, осаждают в отдельных

жилах или газовых пустотах громадные массы кремнистых желваков и жеод. И когда начинается разрушение породы в глинистую дресву, из нее как бы выкатываются грандиозные шары до одного метра в диаметре.

В штате Орегон в США их называют «гигантскими яйцами» или «яйцами-великанами». Их разбивают на куски и потом распиливают на тонкие пластины для получения прекрасных слоистых агатов – сырья для «камней» к часам и другим точным приборам, для призм весов, для ступочек химических лабораторий. Иногда и после прекращения вулканической деятельности, в связи с наличием остывающих изверженных масс, кремнезем выносится горячими ключами на поверхность земли. Таково, например, происхождение отложений «неблагородного опала» гейзерами в Исландии и в Йеллоустонском национальном парке США.

Посмотрим на белоснежные пески дюн побережья Балтики и северных морей, на миллионы квадратных километров песчаных пустынь Средней Азии и Казахстана; песок – вот что определяет природу берегов морей и пустынь; кварцевый песок то с красной пленкой железных окислов, то с преобладанием черного кремня, то чисто белый, очищенный морской волной.

А вот нарядные изделия из горного хрусталя. Искусный мастер китаец при помощи разнообразных скребков и наждачного порошка создал фантастические изделия из кристаллов кварца.



Осадки гейзерита – «неблагородного опала» – образуют террасы кремнистого туфа. Гейзер «Мамонт» в Йеллоустонском парке. США



Агат

Сколько десятков лет затратил он, чтобы выточить вазочку из горного хрусталя, сделать чудовищного дракона или выдолбить маленький флакончик для розового масла?

А вот агатовая пластинка; она окрашена разными красками. Изобретательный человек научился пропитывать ее различными растворами и из серого, невзрачного агата получать гладкие, ярко окрашенные пластинки для изделий.

Но вот перед нами еще более удивительные картины: целые древние леса окаменелого дерева в Аризоне, каменные древесные стволы из чистого кремнезема – агата в западных областях Украины, а также среди пермских отложений западного склона Южного Урала.

Вот искристый, переливающийся камень, напоминающий «огонь» кошачьего или тигрового глаза. Вот таинственные кристаллы, внутри которых, как «привидение», просвечивают как бы другие кристаллы того же кварца. Вот острые красно-желтые иголки минерала рутила прорезают в разных направлениях кристаллы горного хрусталя – «стрелы Амура».

Вот тонкий золотистый войлок – «волосы Венеры». Вот замечательный камень с пустотой внутри, почти сплошь заполненной водой. Вода переливается и играет внутри кремневой скорлупы.

Вот невероятно извилистая трубка – это результат действия молнии на кварцевый песок, сплавленные фульгуриты, «стрелы неба», или «громовые стрелы», как они называются часто народом. А вот камни с неба. Своеобразные богатые кремнеземом метеориты из зеленого или бурого стекла<sup>[24]</sup> находят на отдельных участках того громадного пояса, который тянется через Австралию, Индокитай и Филиппины.

Сколько споров возникало вокруг этих таинственных образований! Одни считали, что это остатки стекла, плавленного древним человеком, другие думали, что это расплавленные частицы земной пыли; третьи – что это продукт расплавления песков, когда в них падали массы метеорного железа, но большинство ученых склонно думать, что это настоящие частицы других миров...

## **Кремень и кварц в истории культуры и техники**

Я попытался на предыдущих страницах нарисовать перед читателем сложную историю кварца, кремнезема и их соединений. Начиная с горячих расплавов и кончая холодной поверхностью Земли, начиная с космических областей и кончая песком, которым посыпают в гололедицу наш тротуар, – всюду мы встречаемся с кремнием и кремнеземом; всюду кварц – один из самых замечательных и самых распространенных минералов мира.

Я мог бы на этом кончить историю кварца, если бы мне не хотелось рассказать еще о том, какое огромное значение имел кварц в истории культуры и техники. Недаром первобытный человек стал делать свои первые орудия из кремня или яшмы. Недаром самые первые украшения в древнейших постройках Египта, в остатках шумерийской культуры Месопотамии были сделаны именно из кварца. Недаром еще за двенадцать веков до нашей эры на Востоке научились плавить песок с содой и получать стекло.

Горный хрусталь находил широчайшее применение у персов, арабов, индусов, египтян; и мы имеем сведения, что обработка кварца существовала еще за пять с половиной тысяч лет до нашего времени.

В течение многих столетий древние греки считали горный хрусталь окаменевшим льдом, превращенным в камень по воле божественной силы. Много фантастических историй связано с этим камнем. В библейских сказаниях ему придавалось огромное значение. При постройке знаменитого Соломонова храма в Иерусалиме этот минерал играл огромную роль под разными названиями: агат, аметист, халцедон, оникс, сард и другие.

В середине XV века была создана первая промышленность по обработке этого камня. Научились его пилить, шлифовать, окрашивать и широко использовать в качестве украшений. Но все это были отдельные попытки кустарей, не имевшие массового характера до тех пор, пока новая техника не предъявила более широких требований. Сейчас горный хрусталь используется широко в промышленности и в радиотехнике, где с помощью пьезокварцевых пластинок стали улавливать ультразвуковые волны и преобразовывать их в электрические колебания. Горный хрусталь превратился в один из важнейших видов сырья нашей промышленности.

И на смену флейте, выточенной из горного хрусталя (Художественный музей в Вене), и прозрачному самовару (Оружейная палата в Москве) пришли маленькие пластинки из кварца для радио, способствовавшие успеху одного из величайших открытий человечества – передаче электромагнитных волн на далекие расстояния<sup>[25]</sup>.

Но скоро кварц – чистый горный хрусталь – будут делать химики. В больших баллонах, наполненных жидким стеклом, при высокой температуре и под большим давлением на тонких серебряных проволочках будут расти кристаллы горного хрусталя – чистые маленькие пластинки для радио, а может быть, и для стекол наших окон, для нашей посуды<sup>[26]</sup>.

И живительные ультрафиолетовые лучи солнца, задерживаемые простым оконным стеклом, будут пронизывать наши комнаты. Появится посуда из плавленого кварца, и раскаленные на плите кварцевые чашки можно будет опускать без опасений в холодную воду<sup>[27]</sup>.

Из тончайших кварцевых нитей, столь тонких, что надо сложить пятьсот нитей, чтобы получить толщину спички, будут плести нежнейшие ткани; и кремнезем будет не только материалом для построения скелета мельчайших радиолярий, но и материалом для одежды человека; он «оденет» человека своими иглами и нитями...

Горный хрусталь сделался основой новой техники; не только геохимик пользуется им как термометром для определения температуры земных процессов<sup>[28]</sup>, не только физик устанавливает при помощи кварца длину электромагнитных волн, – новые и заманчивые перспективы открывает кварц в различных областях промышленности; и скоро он войдет в обиход всей нашей жизни.

Чем упорнее будут химики и физики овладевать атомами кремния, тем скорее они впишут в историю науки и техники, а также в историю самой Земли одну из самых замечательных страниц.

## ***Углерод – основа всего живого***

Кто из вас не знает сверкающего всеми цветами радуги драгоценного алмаза, серого графита или, наконец, черного куска угля? Все это лишь

различные формы, в которых встречается в природе один и тот же химический элемент – углерод<sup>[29]</sup>.

Относительное количество углерода на Земле невелико: оно составляет один процент веса земной коры. Но роль его в химии Земли огромна: без него невозможна жизнь.

Всего углерода в земной коре содержится 4 584 200 миллиардов тонн. Вот как распределяется углерод в разных частях земной коры:

В живом веществе . . . . .	700	миллиардов	тонн
В почвах . . . . .	400	»	»
В торфе . . . . .	1200	»	»
В бурых углях . . . . .	2100	»	»
В каменных углях . . . . .	3200	»	»
В антрацитах . . . . .	600	»	»
В осадочных породах	4 576 000	»	»

К этому надо добавить 2200 миллиардов тонн в атмосфере и 184 000 миллиардов тонн в воде океанов.

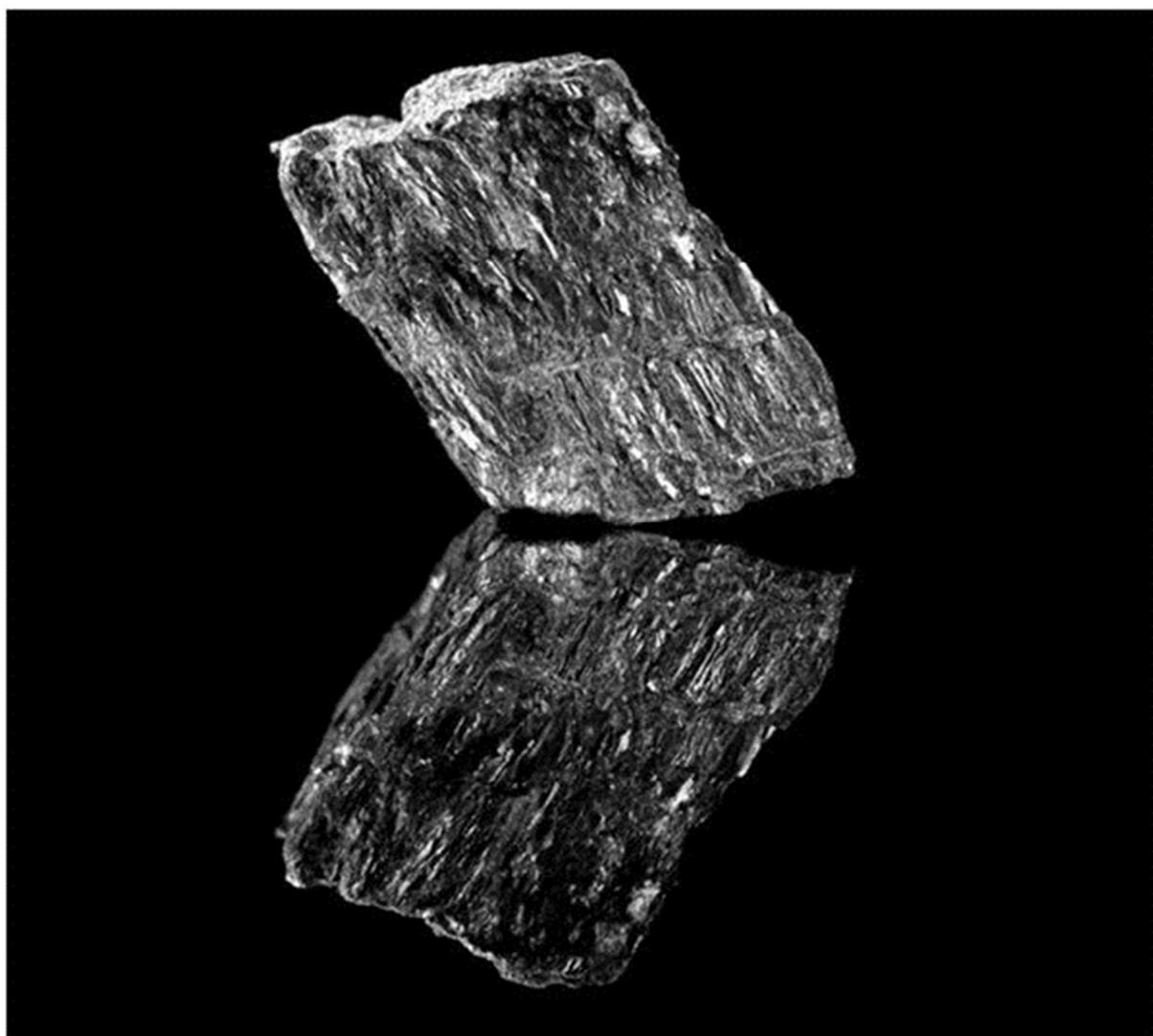
Познакомимся же с историей углерода, того элемента, из которого построена живая материя, изучению которого посвящена целая отрасль химии. Сколько таинственного и неясного в путях его странствования в земной коре!

На самых первых стадиях его существования, доступных нашему исследованию, мы встречаемся с этим элементом в расплавленных магмах. То в виде листочков или шаровых скоплений графита, то в виде кристаллов драгоценного алмаза входит он в состав различных пород, застывших в глубинах и жилах из расплавленных масс. Но главная часть этого элемента ускользает из застывающих массивов: то в виде летучих углеводородов и карбидов поднимается он вверх по жилам, образуя скопления графита (например, на острове Цейлон), то, соединяясь с кислородом, в виде углекислого газа устремляется вверх.

Мы знаем, что в глубинах всемогущая кремнекислота не дает возможности этому газу образовывать солей; и действительно, нам не известно ни одного сколько-нибудь важного минерала изверженных пород, который содержал бы угольную кислоту. Зато те же породы удерживают ее механически в своих пустотах (так же, как они удерживали растворы солей хлора), и в этих газовых включениях накапливается в 5–6 раз большее количество угольной кислоты, чем то, которое входит в состав нашей атмосферы.

В областях вулканов, не только действующих, но уже давно потухших – еще в третичное время, – вырывается этот газ в атмосферу, то собираясь в отдельные газовые струи вместе с другими летучими соединениями, то смешиваясь с водой и образуя нарзаны. Человек использовал эти воды для лечения и устроил около них санатории и водолечебницы, например на Кавказе. Вода в них так перенасыщена углекислотой, что постоянно поднимающиеся к поверхности пузырьки ее создают впечатление, что вода кипит.

Но если бы вы побывали на Урале, то подобных теплых углекислых источников вы бы не встретили. Геохимия объясняет это различие в составе вод Кавказа и Урала тем, что Урал возник значительно раньше, чем Кавказские горы, и поэтому здесь в период образования гор подземные породы уже остыли.



Графит

На Кавказе же на значительной глубине под горами еще сохранился очаг тепла. Находящиеся вблизи этого очага породы, содержащие углекислоту (мел, известняки), под влиянием тепла частично разлагаются и освобождают газообразную углекислоту. Эта углекислота вместе с минерализованной водой поднимается вверх по трещинам.

Известны случаи, когда подземные струи углекислоты настолько мощны и выбрасываются под таким большим давлением, что на поверхности земли вследствие испарения их около выходов образуется туман и «снег» из твердой углекислоты. Подобную твердую углекислоту из природных струй местами используют для технических целей в качестве сухого льда.

Бывали периоды в истории земной коры, когда усилившаяся вулканическая деятельность выбрасывала в атмосферу колоссальные количества угольной кислоты; бывали и такие моменты, когда пышно развернувшаяся тропическая растительность в грандиозных размерах снова возвращала углерод в его самородное состояние. Перед этими процессами Земли бледнеет роль человека с его заводской и фабричной деятельностью.

Грандиозное количество углекислоты выбрасывается действующими вулканами, например Везувием, Этной, вулканом Катмай на Аляске и другими. Главную массу выбрасываемых вулканами газов составляет углекислота.

Как могучий фактор химических превращений начинает угольная кислота на земной поверхности свое разрушительное действие; в противоположность глубинам, здесь она, а не кремневая, является госпожой положения: она разрушает изверженные породы, извлекает металлы, соединяется с кальцием и магнием, накапливаясь в виде известняков и доломитов; в колоссальных количествах собираются ее соли в водных бассейнах, и из них строят организмы свои раковины, из них строят кораллы свои могучие постройки.

Мы не можем в достаточной степени оценить значение этих медленных превращений углерода на земной поверхности, так как они не только влияют на климатический режим поверхности, но и обуславливают изменения в развитии всего органического мира.

Представьте на секунду, как бы выглядела Земля без углерода. Ведь это значит, что не было бы ни одного зеленого листа, ни дерева, ни травки. Не было бы и животных. Лишь голые утесы разнообразных пород торчали бы среди безжизненных песков и безмолвных пустынь Земли. Не существовало бы ни мрамора, ни известняков, украшающих своим белым цветом наши ландшафты. Не было бы ни угля, ни нефти. Если бы не было углекислоты, то и климат Земли был бы суровее и холоднее, так как углекислота в атмосфере способствует поглощению световой энергии солнца. Воды также были бы мертвы.





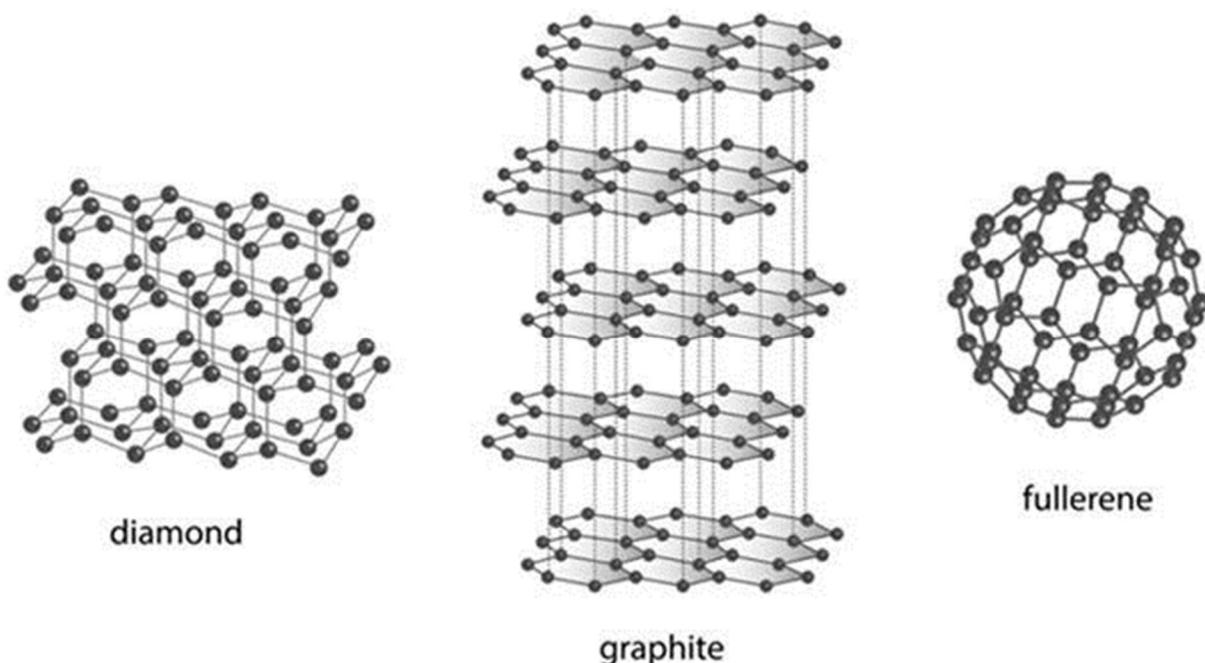
## Растительность каменноугольного периода, из которой образовался каменный уголь

Химические свойства углерода очень своеобразны. Он единственный из элементов, который дает безграничное число соединений с кислородом, водородом, азотом и другими химическими элементами. Многие из этих углеродных или органических соединений составляют, в свою очередь, разнообразнейшие сложные белки, жиры, углеводы, витамины и многие другие соединения, входящие в состав тканей и клеток живых организмов.

Само название – «органические соединения» – указывает, что впервые с соединениями углерода человек познакомился, выделяя их из тканей растений и животных, как, например, сахар, крахмал, а затем научился делать и многие искусственные соединения. В настоящее время в органической химии, занимающейся химией углерода и его соединений, их синтезом и анализом, насчитывается свыше миллиона органических соединений. Для сравнения можно указать, что неорганических соединений, изготавливаемых нашими лабораториями, насчитывается более тридцати тысяч, а природных неорганических соединений, или минералов, – менее трех тысяч<sup>[30]</sup>.

Органических соединений так много, что приходится теперь их называть все более и более длинными и сложными названиями<sup>[31]</sup>; например, известное лекарство от малярии акрихин имеет полное название: «метоксихлордиэтиламинометилбутиламиноакрихин».

Благодаря свойствам углерода давать многочисленные соединения возникло все богатство и разнообразие видов растений и животных, число которых составляет по меньшей мере несколько миллионов.



Алмаз и графит состоят из атомов углерода, но располагаются атомы в этих минералах различно. В алмазе каждый атом окружен четырьмя атомами углерода на равных расстояниях (тетраэдр). У графита атомы расположены слоями, связи атомов между слоями ослаблены

Но это не значит, что углерод составляет основную массу живых организмов, или, как говорят в геохимии, живого вещества. Углерода в них лишь около 10 %; больше всего воды – до 80 %, а все остальное – другие химические элементы.

Благодаря способности организмов питаться, развиваться и размножаться, через живое вещество в процессе жизни проходят огромные массы углерода. Вы видели много раз, как весной пруд начинает зарастать с поверхности зеленой пленкой водорослей и других растений, как летом эти водоросли достигают полного расцвета, а к осени буреют и опускаются на дно пруда, образуя донный ил, богатый органическим веществом. От него, как мы увидим дальше, берут начало угли и растительные илы – «сапропели», из которых можно получать синтетический бензин.

Много углекислоты выделяют животные при дыхании.

Так, например, у человека поверхность всех легочных пузырьков составляет около  $50 \text{ м}^2$ , и за сутки человек выдыхает в среднем 1,3 кг углекислого газа.

Все человечество ежегодно выдыхает в атмосферу Земли около миллиарда тонн углекислого газа.

Наконец, еще более гигантский запас углекислоты находится под землей в связанном состоянии, в виде известняков, мела, мрамора и других

минералов, образующих мощные слои в сотни и даже тысячи метров. Если бы все это количество углекислоты, связанной в них в виде углекислого кальция и магния, мы могли бы вернуть в атмосферу, то углекислоты в воздухе стало бы в 25 тысяч раз больше.

Углекислота из атмосферы частично растворяется в воде мирового океана. Из воздуха и воды углекислота поглощается растительными организмами. По мере того как в воде океана ее становится меньше, новые количества ее поступают из воздуха. Океан действует на огромной своей поверхности как грандиозный насос, поглощая, затягивая углекислоту.

Первоначальное вовлечение углекислоты в круг живого вещества осуществляют растения. Именно листья зеленых растений на свету улавливают углекислоту и превращают ее в сложные органические соединения. Этот процесс называется фотосинтезом и происходит при участии света и зеленого вещества растения – хлорофилла. Огромное значение фотосинтеза в природе впервые выяснил и подробно изучил гениальный русский ученый Климент Аркадьевич Тимирязев. В течение года все растения успевают пропустить таким образом большое количество углекислоты, находящейся в атмосфере. Но этот недостаток непрерывно пополняется выделением углекислоты из водоемов и организмов животных.

В результате фотосинтеза образуются огромные массы органического вещества – ткани растений. Растения служат пищей животным, обеспечивая их существование и развитие. Если к этому мы еще добавим, что нефти и угли создаются за счет погибших организмов<sup>[32]</sup>, то станет ясным, какое значение для геохимии имеет поглощение углекислоты растениями. Нет реакции, более важной по своему геохимическому эффекту, чем реакция фотосинтеза у растений.

Как мы уже говорили, круговорот углерода не заканчивается образованием из углекислоты органических соединений в растениях, а затем и у животных. Организмы гибнут. Их тела, ткани, в виде отложений на дне прудов, озер, морей, отложений торфа, накапливаются в больших количествах. Эти остатки организмов подвергаются действию воды, процессов брожения и гниения. Бактерии резко изменяют состав тканей организмов. Наиболее упорно сохраняется клетчатка, лигнин растений.

Органические остатки покрываются толстым слоем песка, глины.

Затем из них под влиянием нагревания, давления и сложных химических процессов постепенно начинают образовываться каменный уголь или нефть, в зависимости от природы этих остатков и условий сохранения.

Твердый органический углерод, возникающий в результате процесса разложения растений, встречается в трех видах: в виде антрацита, каменного и бурого угля.

Наиболее богат углеродом антрацит. Изучение под микроскопом подтверждает первоначальную растительную природу и растительное происхождение каменного и бурого угля.

Эти угли слоисты, и местами в прослойках можно увидеть даже невооруженным глазом отпечатки листьев, спор, семян. Каждый кусочек угля представляет собой часть того углерода, который когда-то в виде угольной кислоты был поглощен живой клеткой растения при участии энергии солнечного луча и хлорофилла.

«Пойманный солнечный луч» – говорят про каменный уголь. И действительно, в каждом маленьком кусочке угля сохраняется солнечный луч, пойманный растением, превратившийся сначала в сложную растительную ткань, а затем постепенно преобразованный в процессе медленного разложения. Его теплом согреваются котлы фабрик, заводов, морских пароходов, его энергия двигает колоссальные машины, его добыча определяет гигантское развитие современной промышленности.

Ежегодная добыча угля выражается грандиозной цифрой более миллиарда тонн, что далеко превышает добычу любого другого полезного ископаемого. Но каменный уголь дает не только тепло. Человек извлекает из него множество различных ценных продуктов, которые положили начало химической промышленности угля. Из простого угля научились делать кокс, бензол, красители, пластические массы, аспирин, стрептоцид и так далее.

Если на образование угля использовались главным образом клетки тканей растений, то такое жидкое органическое вещество, как нефть, образовалось из других простейших организмов и их спор; следовательно, и эта горючая жидкость, еще более ценная, чем уголь, является своеобразным «пойманным солнечным лучом». Как и уголь, нефть пока больше всего используется как источник энергии. Продукты переработки ее – мазут, керосин, бензин – всем хорошо известны. Современные быстроходные корабли и авиация могут пока существовать только на нефти, очищенной и перегнанной в виде чистых сортов бензина. Но помимо этого, нефть и уголь дадут нам ценнейшие синтетические материалы: искусственные волокна, битумы, жиры, глицерин и так далее. Из некоторых сортов каменного угля научились получать искусственный бензин, но углей, пригодных для этой цели, не очень много, выход жидких продуктов мал, а по качеству искусственный бензин хуже. В погоне за нефтью люди бурят скважины иногда свыше четырех километров глубиной, извлекая из недр земли эту драгоценную жидкость, «черную кровь земли»<sup>[33]</sup>.

Скважина, добывающая нефть, действует по несколько лет. На поверхности земли ставят сложное сооружение – вышку высотой в 37–43 м. Лес вышек нефтяного промысла издали выглядит очень эффектно. Такие нефтяные промыслы имеются у нас на Кавказе, на западных

склонах Урала (Башкирия), в Средней Азии и на Сахалине. Значительны и месторождения нефти в Иране, Месопотамии и в других странах земного шара.

Так из глубин углерод снова появляется на поверхности Земли; на этот раз его поднимает сам человек; и в постоянной борьбе за свое существование, за завладение природными запасами энергии человечество ежегодно сжигает более 700 миллионов тонн угля.

С целью получить тепло человек превращает все вновь в углекислоту и воду. Так борются между собой деятели различного порядка и различного значения, то окисляя углерод, то переводя его в самородное состояние.

Но, как мы уже говорили, вы все хорошо знаете, помимо угля, еще две интересные разновидности чистого углерода – *алмаз* и *графит*. Как не похож сияющий огнями драгоценный алмаз на простой серый графит, которым мы пишем! Различие в свойствах тел мы всегда объясняем различием в составе. Однако в данном случае разные свойства объясняются различным расположением атомов в кристаллах.

В кристалле алмаза атомы лежат очень плотно друг к другу. С этим связаны его значительный удельный вес и твердость, превосходящая твердость всех остальных минералов, а также исключительно высокий показатель преломления.

Алмаз может образоваться из расплавленной породы лишь при очень больших давлениях, достигающих 30, а может быть даже и 60 тысяч атмосфер<sup>[34]</sup>.

Такие давления существуют лишь на глубине 60–100 км от земной поверхности. Очень редко породы с такой глубины выходят на поверхность, и этим можно объяснить, почему алмаз встречается исключительно редко. За твердость, игру цвета он ценится очень высоко, как первоклассный драгоценный камень. Ограниченный, шлифованный алмаз называется бриллиантом.

С давних пор Индия славилась своими алмазами, добываемыми из россыпей. Затем алмазные россыпи были открыты в Бразилии (1727 г.), в Африке (1867 г.) и у нас<sup>[35]</sup>. Главная масса алмазов в настоящее время добывается из африканских месторождений, открытых в долине реки Ваал, правого притока реки Оранжевой.

Сначала их добывали из россыпей речной глины, но скоро обнаружили, что они есть и в голубой глине на пологих холмах вдали от речки. Стали разрабатывать голубую глину, началась «алмазная лихорадка»: по цене, взвинченной в миллионы раз, покупали участки голубой глины величиной всего 3 x 3 метра и копали ямы огромной глубины. В ямах, как муравьи, копошились люди, добывая породу. Чтобы вывозить драгоценную глину, в ямы протянули проволоки подвесных дорог.

Однако уже на небольшой глубине глина исчезла и показалась твердая зеленая порода – кимберлит. В ней также были алмазы, но добывать их стало труднее, и мелкие собственники принуждены были отказаться от такой трудоемкой и дорогостоящей разработки. После некоторого периода бездействия крупное акционерное общество снова возобновило добычу уже при помощи шахт.

Алмазоносная порода уходит в землю на недостижимую глубину. Она заполняет каналы, образовавшиеся во время вулканических взрывов.

Известны десятки воронок от таких взрывов; наибольшая из них имеет 350 метров в поперечнике, остальные – от 30 до 100 м.

Алмазы в кимберлите вкраплены очень мелкими зернами менее 100 миллиграммов (или полкарата) весом. Но иногда попадались и крупные камни. Долгое время самым большим был «Эксцельсиор», весивший 972 карата, или 194 грамма. В 1906 году нашли еще больший, названный «Кюллинан», – его вес 3 025 каратов, или 605 граммов. Камни более 10 карат редки и дорого ценятся. Самые знаменитые бриллианты весят от 40 до 200 каратов. Рядовые алмазы – крошки, так же как черная разновидность – «карбонадо» или алмазные капли – «баллас», также высоко ценятся, так как используются в технике для сверления и бурения горных пород. Довольно крупные камни нужны для волочильных станков, приготавливающих вольфрамовую нить для электрических лампочек.



Кристаллы алмазов

Графит – тот же углерод; но как отличен он по своим свойствам от алмаза!

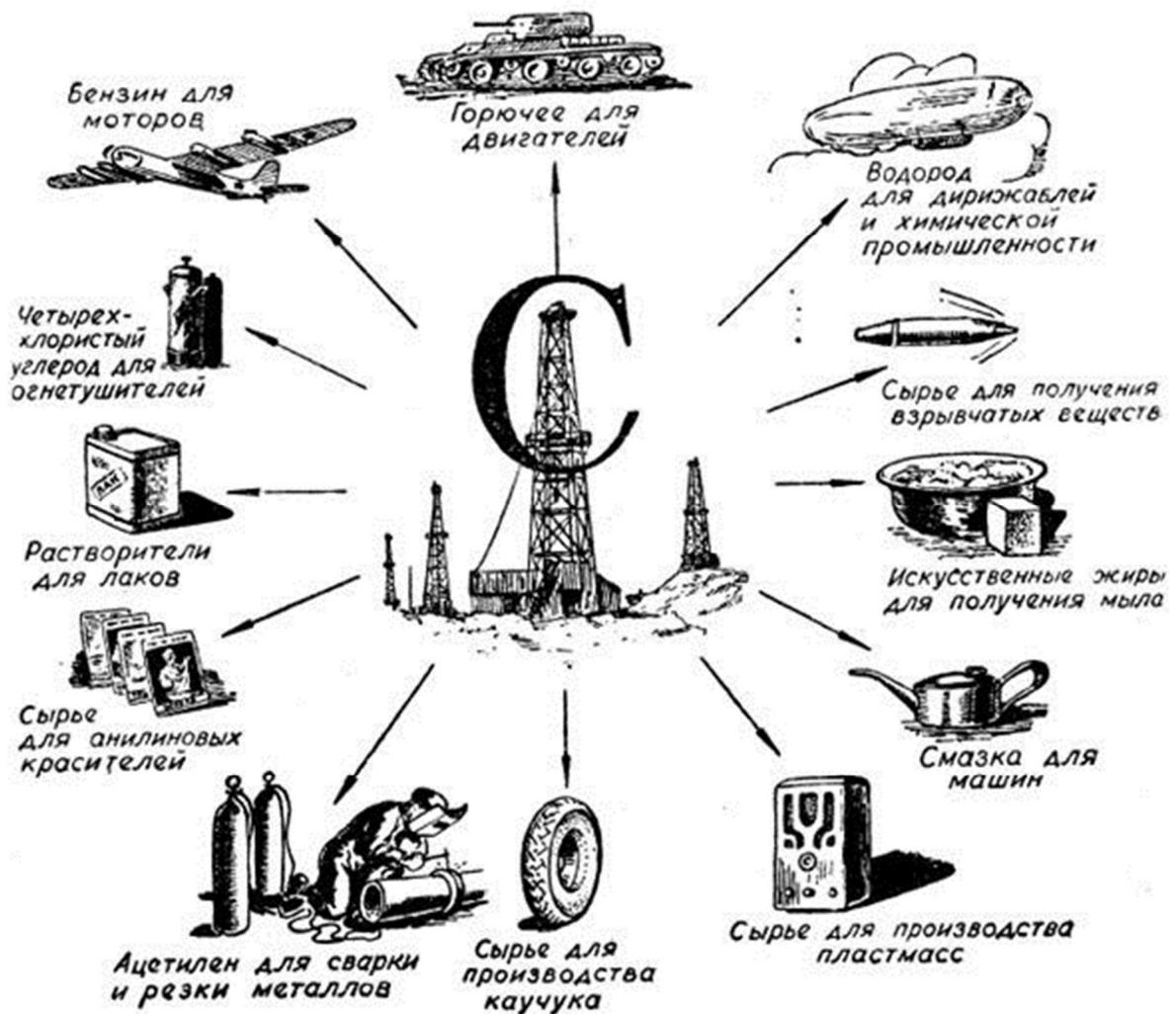
Его атомы легко отделяются друг от друга по плоскостям. Этот мягкий минерал с металлическим блеском непрозрачен, легко распадается на листочки и оставляет след на бумаге. Графит плохо соединяется с кислородом и может переносить очень высокую температуру, являясь своеобразным огнеупором.

Происхождение его двояко: он образуется или вследствие разложения углекислоты, выделяющейся из магмы при образовании изверженных пород, или при видоизменениях каменного угля. Знаменитое месторождение первого типа находится в Сибири. Среди застывшей изверженной породы – нефелинового сиенита – здесь лежат линзы очень чистого графита. В бассейне же Енисея залегают огромные пласты графита. Он образовался здесь из каменного угля и содержит много золы.

Мы ежедневно имеем дело с графитом, когда пишем карандашом. Для изготовления карандашей графит замешивают с очищенной глиной, от количества которой зависит твердость карандаша: для твердых карандашей глины берут мало, для мягких – больше. Потом стержни прессуют и клеивают в дерево. Но на карандаши идет всего 5 % добываемого графита. Главная его масса расходуется на огнеупорные тигли для плавки высших сортов стали, на электроды для электрических печей, на смазку трущихся частей в тяжелых механизмах (например, в алюмингах); в виде порошка графит идет для присыпки «опок» – глиняных форм для отливки металлических частей машин.

Нам с вами остается вспомнить о судьбе той углекислоты, которая сохранилась в пластах Земли в виде известняков, мела, мрамора.

Прежде всего – как она образовалась? На это легко ответить, достаточно рассмотреть небольшое количество порошка мела под микроскопом. Мы найдем в нем целый мир микроскопических ископаемых организмов. Мы увидим множество кружочков, палочек и кристалликов, нередко тонкого и красивого узора. Это остатки известковых скелетов микроскопических организмов – корненожек. Некоторые виды их и сейчас еще встречаются в теплых морях. Скелеты корненожек состоят из углекислого кальция, и после смерти их организмов массы таких скелетов и образовали породу. Но не только микроскопические низшие организмы участвуют в образовании пород, – скелеты многих других морских животных и растений состоят из карбоната кальция. Эти скелеты также встречаются в известняках.



Это все получают из нефти! Но из нее получают еще много и других ценных продуктов

Ученые по сохранившимся остаткам организмов умеют определять относительное время образования известняков.

Новейшие геохимические исследования дают возможность установить закономерное соотношение между углем и нефтью и общим количеством известняков на всем земном шаре.

Следовательно, можно примерно определить по обилию известняковых пород для каждой геологической эпохи количество образовавшихся тогда угля и нефти. Значение таких геохимических заключений очень велико, даже если практические расчеты и окажутся неточными.

Многие древнейшие известняки под влиянием давления превращаются в мраморы, и всякие следы органической жизни в них исчезают. Углекислота, накопившаяся в них за долгие миллионы лет, вышла из круговорота. И только если возникнут где-либо вблизи мраморов

горообразовательные и вулканические процессы, они могут вновь под влиянием жара освободить углекислоту и положить начало новому круговороту ее.

Таким образом, в вечном круговороте химических процессов Земли сама природа поддерживает равновесие.

## ***Фосфор – элемент жизни и мысли***

Для того чтобы понять историю этого замечательного элемента природы, я приведу здесь два рассказа. Один будет относиться к далеким временам – к концу XVII века, другой – к нашим дням. Затем я попытаюсь сделать из этих двух рассказов выводы и нарисовать перед вами сказочную историю фосфора, без которого нет ни жизни, ни мысли.

\* \* \*

Темный подвал, слабо освещенный высоко расположенным окном с решеткой. Печь с жаровнями и большим кузнечным мехом, большие реторты, стелющиеся клубы дыма... На стенах подвала различные надписи, арабские изречения, пентаграммы, астрономические вычисления, картина звездного неба и небесных светил. На столах, на полу разложены древние фолианты в толстых кожаных переплетах с какими-то таинственными знаками. На полу большие чаши для растирания солей, груды песка, человеческих костей, сосуды с «живой» водой, на столе сверкающие капли ртути, тонкие стаканы, реторты, желтые, бурые, красные и зеленые растворы.



Средневековый алхимик в своей лаборатории

И среди всей этой обстановки старинной алхимической лаборатории фигура седовласого алхимика, замкнувшегося на многие годы от мира. Он ищет, как превратить серебро в золото, как использовать таинственную силу горения, чтобы из одного металла получить другой.

На тысячу ладов растворяет он порошки и человеческие кости, выпаривает мочу различных животных и людей, он ищет философский камень, который сделает старых молодыми, который научит получать из простого металла дорогое золото.

В такой таинственной и сложной обстановке решались химические проблемы алхимиками XVII в. Но тщетны были попытки получить золото из ртути или выделить философский камень из костей. Проходили годы, опыты не приносили успеха. Все большей и большей тайной окружали свои лаборатории алхимики, пряча рецепты и толстые фолианты своих записей.

Но вот в 1669 году одному из алхимиков, работавшему в Гамбурге, посчастливилось. В поисках драгоценного камня он взял свежую мочу, выпарил ее досуха, а черный остаток подверг прокаливанию. Сначала осторожно, потом более сильно прогрел он этот остаток, и на верху

трубки стало накапливаться белое воскообразное вещество, которое, к удивлению алхимика, светилось.

Геник Бранд – так звали этого алхимика – долгое время тщательно скрывал свое открытие. Тщетны были попытки других алхимиков проникнуть в его лабораторию. Сильные мира сего приезжали в Гамбург и пытались купить у него эту тайну. Открытие произвело огромное впечатление, величайшие умы XVII века были им заинтересованы, полагая, что найден философский камень. Камень этот светился холодным, спокойным светом; он был назван «холодным огнем», а само вещество получило название «фосфор» (что значит по-гречески «несущий свет»).

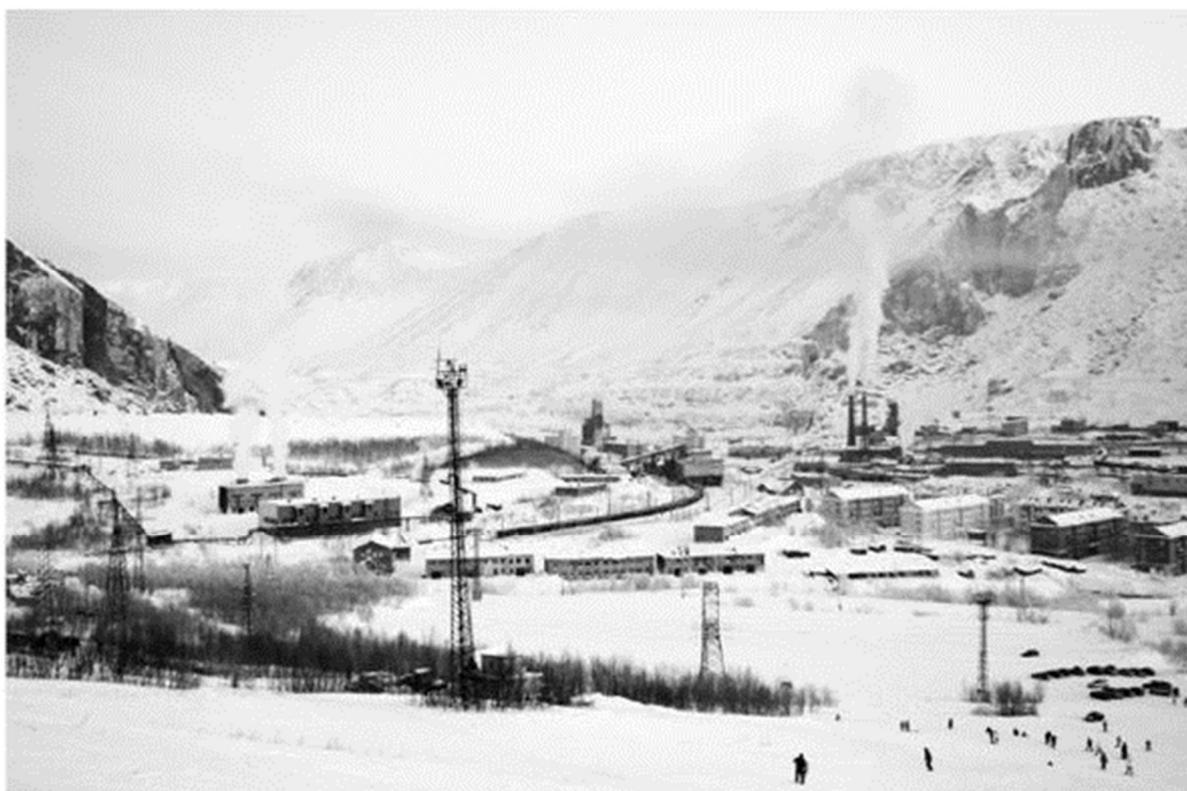
Роберт Бойль – один из крупнейших английских химиков – и Лейбниц – философ XVII века – заинтересовались открытием Бранда. Очень скоро один из учеников и ассистентов Бойля в Лондоне добился таких прекрасных результатов, что даже напечатал объявление в газете: «Ганквиц, химик в Лондоне, живет на такой-то улице, готовит разного рода лекарства. Кроме того, уведомляет всех любопытствующих, что он один в Лондоне может изготавливать фосфор разных сортов по 3 фунта стерлингов за унцию».

И все же до 1737 года получение фосфора оставалось секретом алхимиков. Бесплодны были их попытки использовать этот замечательный элемент. Считая, что открыт философский камень, они пытались при помощи светящегося белого фосфора превращать серебро в золото, но это не увенчалось успехом. Философский камень не открывал своих загадочных свойств, а взрывы, иногда случавшиеся во время опытов, только пугали исследователей. Фосфор оставался таинственным веществом и не находил себе применения. Должно было пройти почти два века, прежде чем в скромной химической лаборатории химик Либих открыл еще одну тайну – значение фосфора и фосфорной кислоты в жизни растений. Стало ясно, что фосфорные соединения – основа жизни на полях; и в этой лаборатории впервые была высказана мысль, что для того, чтобы повысить урожайность, нужно рассеивать по полям соединения «холодного огня».

Мы знаем, как недоверчиво отнеслись к этим словам Либиха. Его попытки ввести удобрение селитрой не увенчались успехом, и привезенный на кораблях из далекой Южной Америки груз этой соли, не найдя покупателей, был выброшен в море. Долгое время считалась недоступной фантазией возможность использования солей «холодного огня» для увеличения урожая ржи и пшеницы и развития стебля ценного волокнистого растения – льна. Снова должны были пройти годы упорной научной работы, пока фосфор не сделался одним из важнейших химических элементов в сельском хозяйстве.

\* \* \*

Второй рассказ относится к 1939 году. На Севере, на склонах покрытых снегом горных хребтов, идет грандиозная добыча светло-зеленого камня – апатита, ценного полезного ископаемого. Его добывают в огромных количествах, соревнуясь с добычей фосфорита, извлекаемого на берегах Средиземного моря, в Африке или Флориде. Апатит поступает на большие обогатительные фабрики, где его размельчают, отделяют от вредных составных частей и получают чистый белый порошок, рассыпчатый и мягкий, как мука. Затем его грузят в вагоны и десятками поездов направляют с далекого Заполярья на заводы Ленинграда, Москвы, Одессы, Винницы, Донбасса, Перми и Куйбышева, чтобы там, подвергнув его действию серной кислоты, превратить в новое вещество, в новый белый порошок – растворимый фосфат для удобрений. Миллионы тонн этих фосфорных соединений рассеиваются особыми машинами по полям нашей страны, удваивая урожайность льна, увеличивая сахаристость сахарной свеклы, умножая число коробочек хлопка, повышая плодородие огородных культур.



Апатитовый рудник. Гора Кукисвумчорр

И рассеянные на полях мельчайшие атомы фосфора попадают в хлеб, овощи, в целый ряд употребляемых нами продуктов. Подсчеты показывают, что в каждом куске хлеба весом в 100 г мы съедаем до 10

000 000 000 000 000 000 000 атомов фосфора, то есть колоссальную цифру, которую трудно выразить обычными нашими словами.

Мы рассказали вам о главном источнике фосфорных солей в нашей стране – об апатите Хибинских гор. Но как ни грандиозны рудники Кольского полуострова, они одни не в состоянии насытить поля нашей необъятной Родины фосфором, так как встает проблема перевозки. Того количества вагонов драгоценного апатитового концентрата, которое достигает Сибири, Казахстана и Средней Азии, недостаточно, – на помощь полярному апатиту приходят вновь разведанные месторождения. Энергично добывают фосфориты во многих местах Европейской части Союза, не менее важные месторождения известны сейчас в Сибири и в Средней Азии.

В различных местах нашей необъятной Родины идут поиски и разработки новых месторождений. Имеющиеся залежи фосфорита позволяют нам получать десятки миллионов тонн фосфорных удобрений, которые вносят свою живительную силу на колхозные и совхозные поля нашей страны, полностью насыщая жизнетворными атомами зерна колосьев и стебли растений.

Мы нарисовали вам две картины из истории фосфора: его открытия и использования в наши дни. Свыше десяти миллионов тонн фосфорных удобрений ежегодно вырабатывается во всем мире; из них два миллиона тонн фосфора рассеиваются по полям.

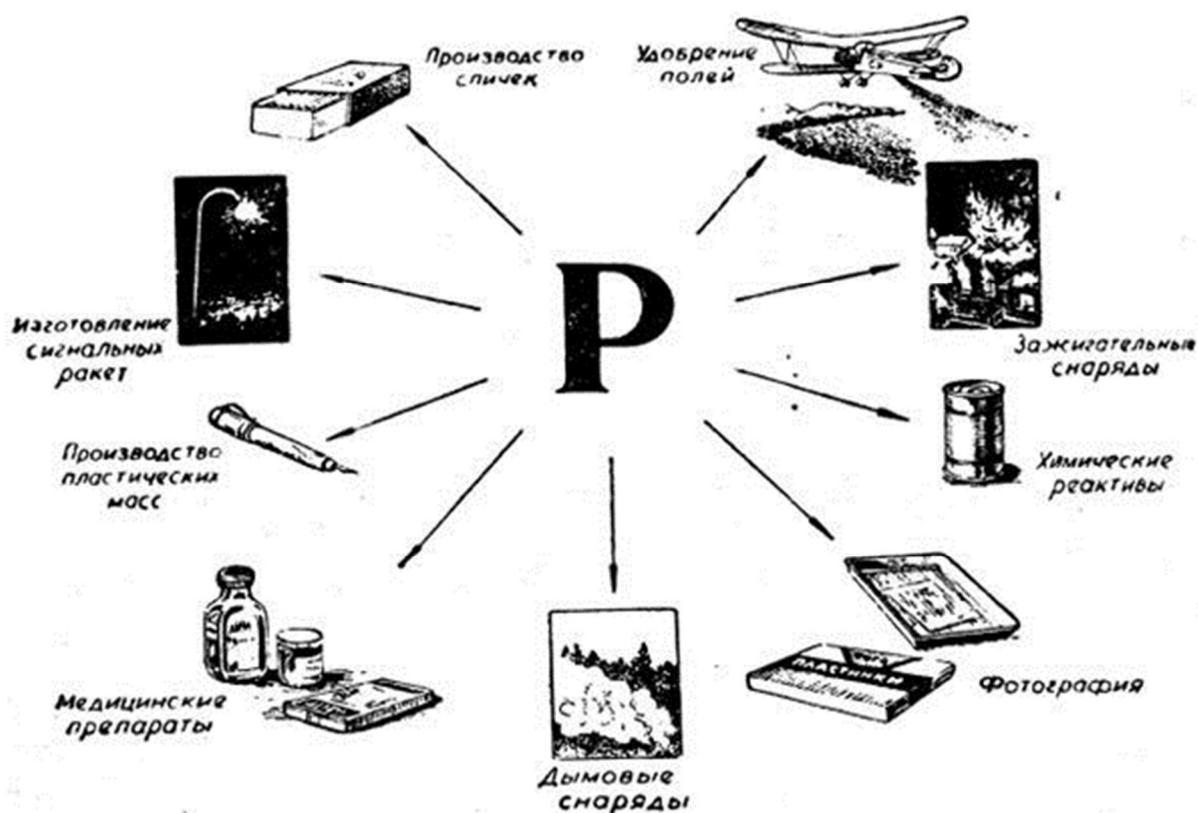
Но фосфор идет не только для удобрений. Значение этого вещества возрастает с каждым годом. В настоящее время этот «холодный огонь» используется не менее чем в 120 отраслях промышленности.



Минерал апатит

Фосфор прежде всего – вещество жизни и мысли; содержание фосфора в костях определяет рост и нормальное развитие клеток костного мозга и, в конечном счете, обуславливает прочность живых организмов. Высокое содержание фосфора в мозговом веществе указывает на его существенную роль в работе мозга. Недостаток фосфорного питания ведет к ослаблению всего организма. Недаром имеются различные лекарства и фармацевтические препараты, содержащие фосфор, которыми лечат слабых или выздоравливающих больных. Фосфор нужен не только человеку, – он нужен также в огромных количествах растениям и животным. Фосфорными удобрениями ныне научились удобрять не только сушу, но и море. В замкнутых бухтах и заливах удобрение морской воды фосфором быстро усиливает размножение и рост мельчайших водорослей и других микроскопических организмов, что вскоре приводит к повышенному размножению рыбы. На наших глазах прошли опыты снабжения фосфором прудов около Ленинграда, отчего рыба в них стала вдвое крупнее. В последнее время огромную роль приобретает фосфор в изготовлении различного рода пищевых продуктов и в особенности минеральных вод. Высокие сорта минеральных вод получают при помощи фосфорной кислоты. Соли

фосфорных кислот, особенно марганцевые и железные, дают прочные и неизменяемые покрытия. Мы знаем, что лучшие сорта изделий из нержавеющей стали получают путем своеобразного покрытия их фосфорными солями. Поверхности самолетов можно сделать нержавеющей при помощи таких фосфорных покрытий. «Холодный огонь» фосфора в былые годы создал одну из крупнейших отраслей промышленности, а именно спичечную. Наши молодые читатели не знают тех фосфорных спичек, которыми пользовались до изобретения спичек нашего времени. Я еще помню из времен моего детства коробочки с фосфорными спичками, которые делались с красными головками и зажигались путем трения о какой-нибудь предмет. Особенно любили зажигать эти спички о подошвы ботинок. Однако опасные свойства фосфора заставили изобрести другие спички, которыми и пользуемся мы в настоящее время.



Участие фосфора в различных производствах

Применение фосфора в спичках подало идею употребить это вещество не для холодного огня, а для холодного тумана. Сгорая, фосфор превращается в фосфорную кислоту, которая долго плавает в воздухе в виде трудно осаждающегося тумана.

Военная техника использовала эту особенность фосфорной кислоты для создания дымовых завес. Значительное количество фосфора содержат зажигательные бомбы; и в современной войне фосфорные бомбы, распространяющие холодный белый туман, сделались одним из средств нападения и разрушения.

Мы не будем рассказывать о тех сложных химических путях, по которым проходит фосфор в самой природе, начиная с глубинных расплавов, до тонких иголочек апатита, и кончая живыми фильтрами (микроорганизмами), улавливающими фосфор из слабых растворов морской воды.

История миграции фосфора в земной коре необычайно интересна. Судьба фосфора связывается со сложным процессом жизни и смерти. Но накапливается фосфор там, где гибнет органическая жизнь и где происходит массовая гибель животных, на стыке морских течений, где создаются подводные кладбища. Фосфор в земле накапливается двояко: или в глубинных месторождениях апатита, выделившегося из горячих расплавов магмы, или в остатках скелетных частей животных. Сложный круговорот проходит атом фосфора в истории Земли. Отдельные звенья его странствований открыты химиками, геохимиками и технологами. Прошлая судьба его теряется в глубинах земных недр, его будущее – в мировой промышленности, на сложных путях технического прогресса.

## ***Сера – двигатель химической промышленности***

Сера является одним из самых первых известных человеку химических элементов. Она встречалась во многих местах побережья Средиземного моря и не могла ускользнуть от внимания древних народов – греков и римлян. Вулканические извержения неизменно выносили с собой огромные количества серы; и запах сернистого газа и сероводорода считался признаком деятельности подземного бога Вулкана. Чистые, прозрачные кристаллы серы в крупных месторождениях Сицилии были замечены за много столетий до нашей эры. Особое внимание привлекала способность этого камня выделять удушливые газы. Именно это необычное свойство и было причиной того, что сера в те времена считалась одним из основных элементов мира.

Поэтому неудивительно, что в представлениях древних натуралистов, а особенно алхимиков, сера всегда играла совершенно исключительную роль при описании процессов вулканической деятельности или образования горных хребтов и рудных жил.

Сера, как казалось алхимикам, вместе с тем обладала таинственным свойством выделять новые вещества при горении и потому должна была являться недостающей составной частью философского камня, который

они так тщетно пытались найти, чтобы суметь получить искусственное золото.

Представление об исключительной роли серы в природе прекрасно передано в знаменитом трактате Ломоносова «Слово о рождении металлов от трясения земли». Приводим несколько мест, сохраняя богатство и звучность языка Ломоносова:

«Рассуждая толикое подземного огня множество, тотчас мысль обращается к познанию материи, которую он содержится...» «Что ж к возгорению удобнее серы? Что к содержанию и питанию огня ее неодолимее?» «Какая горючая материя изобильнее оныя из недр земных выходит? Ибо не токмо из челюстей огнедышащих гор отрыгается и при горючих из земли кипящих ключах и при сухих подземных продушинах в великом множестве собирается, но нет ни единой руды, нет почти ни единого камня, который бы через взаимное с другим трение не дал от себя серного духу и не объявил бы тем ее в себе присутствие...» «Загоревшись, великое количество серы в земном недре и расширив тяжкий воздух в пропастях, в лежащую сверху землю оным упирает, поднимает и по разным сторонам разным количеством движения разными образы трясения производит; и в тех местах прежде всего прорывается, где найдет меньше сопротивления; разрушенной земной поверхности легкие части выстреливает на воздух, которые, падая, окрестные поля занимают; прочие, ради великой огромности, осилив тягостию своею пламень и обрушась, гору составляют...

Видели мы, слушатели, превеликое в недрах земных огня множество и нужная к его питанию серы изобилие, довольное к земному трясению и к произведению перемен великих, бедственных, но и полезных, страшных, но и услаждение приносящих».

Действительно, глубины земных недр содержат значительное количество серы и при своем охлаждении выделяют много летучих соединений различных металлов в сочетании с серой, мышьяком, хлором, бромом и йодом. Об этом мы можем судить не только по запаху, свойственному выделениям вулканов, удушливым соффионам южной Италии или облакам сернистого газа камчатских извержений: сера выносится также и в растворах и в трещинах образует рудные жилы. Вместе с мышьяком и сурьмой, своими друзьями и спутниками в этих летучих горячих флюидах, она образует те минералы, из которых человек с древнейших времен добывает цинк и свинец, серебро и золото.

Но на земной поверхности эти темные, непрозрачные, блестящие полиметаллические руды и разного рода блески и колчеданы подвергаются воздействию кислорода воздуха и воды; последние действуют на соединения серы и образуют новые соединения, а серу окисляют в сернистый газ. Мы знаем этот газ по запаху серных спичек. Он образует с водой сернистую и серную кислоты.

Подобным образом сера и ее продукты выделяются при окислении больших колчеданных линз, разрушают окружающие породы и, соединяясь с более устойчивыми элементами, дают в конце концов гипс или другие минералы. Нужно сказать, что серная кислота, которая образуется в месторождениях колчеданов, а также и там, где добывают самородную серу, обладает разрушительными свойствами.

Вспоминается рудник Медногорск на Южном Урале, где выделения серной кислоты при окислении колчедана настолько велики, что уберечься от ее ядовитой деятельности нет никакой возможности, и одежда всех рабочих, занятых на этих рудниках, очень быстро приходит в негодность.

Работая в каракумских песках, мы не знали этого свойства серных месторождений; и когда наши образцы серной руды, аккуратно завернутые в бумагу, прибыли в Ленинград, оказалось, что бумага совершенно разъедена, от этикеток остались только отдельные обрывки, а местами оказались поврежденными даже ящики. Виновника этих бедствий, природную серную кислоту, пришлось описать как новый самостоятельный жидкий минерал.

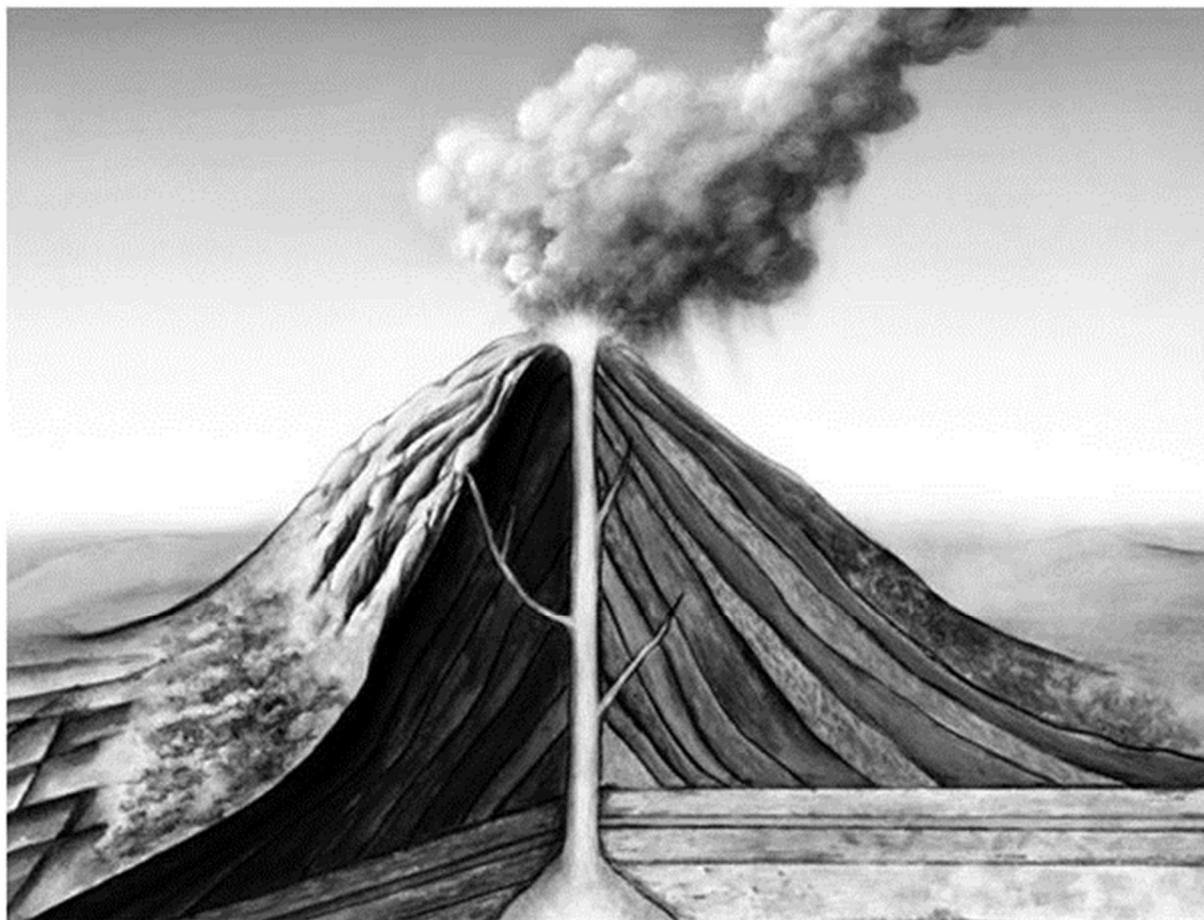


Схема действующего вулкана

Каракумская руда отличается тем, что состоит из смеси песка с серой.

Чтобы выделить чистую серу, инженер-химик П. А. Волков предложил оригинальный способ. В котел, работающий под большим давлением, закладывают мелкую руду, наливают воду, котел герметически закрывают, в него пропускают из парового котла пар под давлением в 5–6 атмосфер. Температура в автоклаве достигает 130–140°, сера плавится и собирается в нижней части котла, тогда как песок и глина, взбалтываемые паром, увлекаются кверху. Через некоторое время открывают кран, и сера спокойной струей стекает в специальные лотки. Весь процесс плавки длится около двух часов. Так просто решили советские инженеры проблему очистки каракумской серы.

Сера недолго остается в своем первоначальном виде: она скоро соединяется с различными металлами, образует в вулканических районах скопления алуниита, белыми пятнами или полосами расходящегося вокруг действующих вулканов.

Некоторые астрономы думают, что именно алуниитом обуславливаются те белые ореолы и белые лучи, которые окружают кратеры лунных гор.

Большое количество окисленной серы находится в соединении с кальцием. Такое соединение довольно трудно растворимо в лабораторных условиях, но зато это достаточно подвижное соединение в земле. Это соединение, которое мы называем гипсом, в больших количествах осаждается в виде мощных слоев в соляных озерах и усыхающих морских бассейнах.

Но на этом не заканчивается история серы на земной поверхности. Часть серной кислоты вновь превращается в газ; целый ряд микроорганизмов восстанавливает серу; из растворов ее солей образуются сероводород и летучие газы, которые в грандиозных количествах выносятся нефтеносными водами, насыщают собой воздух в болотистых низинах, а в ряде лиманов и озер образуют черную илистую массу, которую мы называем лечебной грязью и широко используем для лечения в Крыму и на Кавказе.

Огромная часть серы улетает в воздух в виде сероводорода, вновь возвращаясь в подвижную форму. Таким образом завершается один из циклов сложного круговорота этого элемента в геологической истории Земли.

Но человек резко изменил пути, которые проходит сера на Земле; она оказалась ценнейшим объектом промышленности. В чистом виде ее мировая добыча составляет лишь миллион тонн в год. В соединениях же с железом, из которых получается сера для кислоты, ее добывают в год десятки миллионов тонн.

Сера стала основой химической промышленности; и трудно даже перечислить те отрасли промышленной техники, где она применяется. Я назову лишь самые главные из них, но и из этих примеров будет видно,

что без серы промышленность существовать не может. Сера нужна для получения бумаги, целлулоида, красок, большинства лекарств, спичек, для очистки бензина, эфира, масел, для приготовления фосфорных удобрений, купоросов, квасцов, соды, стекла, брома, йода. Без нее трудно получить азотную, соляную и уксусную кислоты; и понятно, что в истории промышленного развития с начала XIX века сера играет огромную роль. В виде серной кислоты она нужна для получения динамита, а использование в черном порохе сделало ее совершенно необходимой для огнестрельного оружия.

Поэтому борьба за серу проходит через всю историю XVIII века. Долгое время единственным поставщиком серы была Сицилия. Она находилась в руках итальянского королевства, и много раз с начала XVIII века английские фрегаты бомбардировали сицилийские берега, стремясь овладеть этим богатством. Но затем шведы открыли способ получения серы и серной кислоты из колчедана. Огромные испанские месторождения колчеданов сделались объектом внимания всех европейских государств, и тогда английские фрегаты появились у берегов Испании, чтобы овладеть и этим источником серы и серной кислоты. Сицилийские месторождения были заброшены, все внимание сконцентрировалось на Испании.

Но вот в Америке открыты первые богатейшие месторождения серы на полуострове Флорида.

В погоне за прибылью здесь был предложен на первый взгляд совершенно невероятный метод: стали накачивать в глубины перегретые пары воды, которые благодаря низкой температуре плавления серы,  $119^{\circ}$ , расплавляли ее внутри земли и выталкивали в жидком виде на поверхность.

Удалось построить первую установку для откачки расплавленной серы, которая выбрасывалась на землю и застывала в виде громадных холмов.

Этот метод очень производителен, и в Америке стали получать с его помощью грандиозные количества серы. Итальянские и испанские месторождения отошли на второй план.

И снова новая, блестящая мысль рождается в стране сернистых руд, в полярной Швеции. На одном из заводов стали получать серу попутно при обработке колчеданных руд.

Опять источником серы оказывается сернистый металл, и снова судьбы серной кислоты перестраиваются на новый лад.

***Кальций – символ прочности***

Однажды, когда я остановился проездом в Новороссийске, ко мне обратилась группа инженерно-технических работников огромных цементных заводов, расположенных около города, с просьбой прочесть у них в клубе лекцию об известняках и мергелях, которые являются основным сырьем для цемента.

Мне пришлось им ответить, что я совершенно не знаком с этой темой. Я хорошо знаю, что основой извести и цемента являются разные сорта известняков; хорошо знаю, какую ценность имеют хорошие известь и цемент; я рассказал им о том, с каким трудом получали эти два нужных продукта для северных строек.

Простую известь обыкновенно выписывали с Валдайских высот, за полторы тысячи километров от новостроящихся центров, а цемент шел из Новороссийска окружной дорогой – через моря Черное, Эгейское и Средиземное, Атлантический и Ледовитый океаны; рассказал им, что я поэтому прекрасно понимаю совершенно исключительное значение извести в жизни и строительстве, но сам я известняками никогда не занимался и ничего о них не знаю.

– Тогда расскажите нам о кальции, – сказал один из инженеров, подчеркивая, что основой всех известняков является металл кальций, – расскажите о том, что собой представляет этот металл с точки зрения геохимии, каковы его свойства, какова его судьба, где и как он накапливается и почему именно он создает красоту мраморов и придает такие ценные технические свойства известнякам и цементным мергелям.

Я прочел им лекцию на эту тему – и так появился рассказ об атомах кальция в мироздании, который я привожу ниже.

– Вы работаете в цементной промышленности, в промышленности вяжущих веществ, важнейшей отрасли строительной промышленности, для вас история атомов кальция представляет особенный интерес.

Химики и физики нам говорят, что кальций занимает в менделеевской системе совершенно особое место, его номер по порядку 20. Это значит, что он состоит из ядра, то есть из мельчайших частичек – протонов и нейтронов, и двадцати свободных отрицательно заряженных частичек, которые мы называем электронами.

Число 40 определяет собой атомный вес этого элемента, расположенного во второй группе менделеевской системы, во втором ее ряду. В своих соединениях он требует для получения устойчивых молекул двух отрицательных зарядов. Как говорят химики, его валентность равна двум.

Вы видите, что мне пришлось при этом перечислении приводить цифры, кратные четырем. В геохимии это очень важные числа. Мы знаем и в жизни, что когда мы хотим что-либо сделать устойчивым, то мы всегда прибегаем к этим числам; так, например, стол имеет четыре ножки.

Устойчивое тело, всякая постройка обычно симметричны, так что правая и левая половины сходны.

Число 2 и числа 4, 20 и 40 говорят нам об исключительной устойчивости и атомов кальция, и мы даже еще не знаем тех сотен миллионов градусов, которые могут разрушить эту прочную постройку из маленького ядра и быстро несущейся вокруг него плеяды из двадцати отрицательных планет. И по мере того как астрофизики начинают понимать строение всего мира, все более и более вырисовывается огромная роль атомов кальция в мироздании.

Вот солнечная корона в период солнечного затмения. Даже простым глазом видны грандиозные протуберанцы, выбросы на расстоянии сотен тысяч километров накалившихся, быстро мчащихся частиц металлов; главную роль среди них играет кальций. Совершенными методами нашим астрономам удалось сейчас узнать, чем наполнены межпланетные пространства. Между рассеянными звездными туманностями все мировое пространство пронизано мчащимися легкими атомами некоторых химических элементов; и снова среди них большую роль играет кальций наравне с натрием.

Но вот, покорные законам притяжения, какие-то мчащиеся частицы мироздания, описывая свои сложные пути, залетают к нам на Землю. Они падают в виде метеоритов, и снова кальций играет в них огромную роль. И на нашей Земле трудно себе представить какой-нибудь металл, который имел бы большее значение во всех сложных судьбах образования земной коры, создания жизни и технического прогресса.

Еще в те времена, когда расплавленные массы кипели на поверхности Земли, когда постепенно отделялись тяжелые пары, образуя атмосферу, и сгущались первые капли воды, создавая великие океаны и моря, кальций, вместе со своим другом магнием, таким же плотным и прочным, таким же четным элементом (номер его 12), являлся одним из самых важных металлов Земли.

В разных породах, которые тогда изливались на поверхность или застывали в глубинах, атомы кальция и магния играли особую роль. Дно больших океанов, особенно Тихого, еще и сейчас выстлано базальтовой постелью, в которой атомы кальция имеют большое значение, и мы знаем, что наши материки плавают на этой базальтовой постели, образующей как бы своеобразную тонкую застывшую кору на расплавах глубин.

Геохимики даже подсчитали, что в состав земной коры входят по весу 3,4 % кальция и 2 % магния. Они связали законы распространения кальция с замечательными свойствами самого атома кальция, с четностью его электронов, с удивительной устойчивостью этой прекрасной совершенной постройки мира.

Сразу же после образования земной коры начались сложные пути странствования этих атомов.

Извержения вулканов в те далекие времена выносили с собой большие количества угольной кислоты. Тяжелые облака воздушной атмосферы, насыщенной парами воды и углекислоты, окружали Землю, разрушая земную поверхность, снося в диких первичных бурях еще горячие массы земли. Так начался самый интересный этап в истории странствований атомов кальция.

С углекислотой кальций давал прочные, устойчивые соединения. При избытке углекислоты карбонат кальция переносился водами; при потере углекислоты он осаждался в виде белого кристаллического порошка.

Так образовывались мощные слои известняков. Там, где наносы земной поверхности накапливали остатки глин, осаждались слои мергелей. Бурные движения подземных раскаленных масс, врывающихся в слои известняков, обжигали их своими парами в тысячи градусов и превращали в белоснежные горы мрамора.

Но вот из сложных клубков каких-то соединений углерода зародились первые комки органического вещества. Постепенно усложнялись эти коллоидальные желеобразные массы, напоминающие медуз нашего Черного моря; зарождались в них новые свойства – свойства живой клетки. Великие законы эволюции, борьбы за существование, борьбы за дальнейшее развитие рода усложняли эти молекулы, приводили их к новым сочетаниям, и новые свойства появлялись на основе великих законов органического мира. Постепенно рождалась жизнь... Сначала в виде простых клеток среди горячих морей и океанов, потом в виде более сложных многоклеточных организмов, и так вплоть до самого совершенного организма на земле – человека. В этом постепенном усложнении роста каждого организма отражалась все время борьба за создание прочного, устойчивого тела. Мягкое, упругое тело животного было незащищено перед врагами, которые на каждом шагу его разрывали и уничтожали. Живое вещество в процессе постепенной эволюции все больше и больше стремилось защитить себя. Надо было создать или какую-то непроницаемую оболочку вокруг мягкого тела, чтобы можно было спрятаться за ней, как за броней, или же нужен был крепкий внутренний остов – то, что мы называем скелетом, чтобы мягкое тело могло прочно держаться на твердых костях. И история жизни нам показывает, что в этих поисках твердого и прочного материала кальций сыграл совершенно особенную роль. Сначала в раковинки вовлекался фосфорнокислый кальций; и первые ракушки, которые встречаются в истории земной коры, были из минерала апатита.

Однако этот путь оказался не самым правильным; фосфор нужен для самой жизни, но не всюду его запасы так велики, чтобы можно было легко построить прочную раковину; история развития животного и растительного мира показала, что гораздо выгоднее строить прочные части из других, малорастворимых соединений – опала, сернокислых стронция и бария; но в особенности оказался пригодным углекислый кальций.

Правда, не менее нужным оказался и фосфор: в то время как различного рода моллюски и рачки, а также одноклеточные организмы стали широко использовать углекислый кальций для своих красивых ракушек, скелетные части наземных животных стали строиться из фосфорнокислых солей. Кость человека или крупного животного состоит из фосфата кальция, который довольно близок по своей природе к нашему минералу апатиту. Но и тут и там кальций играл значительную роль. Разница была только в том, что скелет человека строился из фосфата этого металла, а раковинки – преимущественно из карбоната.

Трудно себе представить более замечательную картину, чем та, которая рисуется перед натуралистом, когда он подходит к берегу, например, Средиземного моря.

Я помню, как еще молодым геологом я впервые попал около Генуи на скалистый берег Нерви. Я был поражен красотой и многообразием ракушек, разноцветных водорослей, раков-отшельников с их красивыми известковыми домиками, различных моллюсков, целых колоний мшанок и различных известковых кораллов. Я совершенно погрузился в этот чудесный мир прозрачной воды, сквозь синеву которой сверкали всеми цветами радуги разнообразные соединения все того же углекислого кальция. Но мое увлечение этим новым миром прервал огромный осьминог, который незаметно подплыл к нашему камню, и я стал дразнить его палкой.



Станция «Белорусская» Московского метрополитена. В оформлении использован отечественный мрамор

В сотнях тысяч видов накапливался кальций в раковинах и скелетах на дне морских бассейнов. Там прихотливые остатки умерших организмов образовывали целые кладбища углекислого кальция – начало новых горных пород, целых будущих горных хребтов.

И сейчас, когда мы восторгаемся разнообразием расцветок мраморов, украшающих наши архитектурные сооружения, или на электростанции любуемся красивым серым или белым мрамором распределительного щита, или спускаемся по лестнице метро с желто-бурыми ступенями из шемардинского подмосковного мраморовидного известняка, мы не должны забывать, что во всех этих случаях начало огромным скоплениям известняка положено было маленькой живой клеткой и той сложной химической реакцией, которая улавливает рассеянные атомы кальция в морской воде, претворяет их в твердые кристаллические скелеты и волокна кальциевых минералов, которые были названы кальцитом и арагонитом. Но мы знаем, что на этом не кончаются странствования атомов кальция.

Снова воды растворяют его, снова начинают странствовать в земной коре его шарообразные ионы в сложных водных растворах, то образуя так называемые жесткие, богатые кальцием воды, то выпадая вместе с серой в виде гипса, то кристаллизуясь в дивные сталактиты и сталагмиты – сложные фантастические образования известковых пещер.

Потом начинается последний этап истории странствований атомов кальция: им завладевает человек. Он не только использует мраморы и известняки в чистом виде, но в больших печах цементных заводов и известковых обжигательных печах он, освобождая кальций от власти углекислоты, создает грандиозные количества цемента и извести, без которых не было бы нашей промышленности.

В самых сложных процессах органической и неорганической химии – всюду кальций играет огромную роль, определяя собой ход процессов в лабораториях химиков, технологов и металлургов. Но и этого человеку сейчас мало. Кальция слишком много вокруг нас; можно использовать этот устойчивый атом еще для более тонких химических реакций; человек затрачивает на него десятки тысяч киловатт электрической энергии; он освобождает атомы кальция в известняке не только от углекислоты, – он разрывает его связь с кислородом, он выделяет его в чистом виде, в виде блестящего, сверкающего, мягкого, упругого металла, который горит на воздухе, покрываясь белой пленкой все той же извести.

И именно это стремление к соединению с кислородом, именно эту тесную и прочную связь, которая устанавливается между атомами металла кальция и атомами кислорода, и использует человек. Он вносит металлические атомы кальция в расплав железа и, вместо различных

других сложных раскислителей, отказавшись от целого ряда методов очистки чугуна и стали от вредных газов, он заставляет проделать эту работу металлические атомы кальция, внося их в мартеновские и доменные печи.

Так снова начинается путь миграции этого атома; и недолго сверкают его металлические частицы, – опять они превращаются в сложные кислородные соединения, более устойчивые на поверхности нашей Земли.

Вы видите, что история атомов кальция гораздо более сложна, чем мы это думаем; что трудно найти другой химический элемент, который проходил бы столь сложные пути в мировом пространстве и определял бы более важные моменты в истории зарождения наших миров и в нашей промышленной жизни.

Не нужно забывать, что кальций – один из самых энергичных и подвижных атомов мироздания, что безграничны возможности его сочетания в кристаллические постройки мира, что еще много новых открытий сделает человек, сумев использовать эти подвижные маленькие шарики для создания новых, может быть невиданных по прочности, материалов для строительства и промышленности. Но для этого нужно еще много работать, нужно вдумываться в природу этого атома. Чтобы быть хорошим геохимиком, надо быть вдумчивым химиком и физиком и надо быть знатоком геологии. Надо владеть всеми этими науками – химией, физикой, геологией, геохимией, чтобы быть хорошим технологом и понимать те новые пути промышленности, которые приведут к блестящим победам над природой, к широкому использованию самых распространенных элементов Земли!

## ***Калий – основа жизни растений***

Калий – характерный щелочной элемент, занимающий довольно низкое место в менделеевской таблице, в первой ее группе. Это типичный нечетный элемент, так как характерные его показатели нечетны: порядковый номер, то есть число электронов, из которых складывается электронная оболочка, – 19, атомный вес – 39. Он образует прочные связи лишь с одним атомом галоида, например хлора; как мы говорим, его валентность равна единице. Как нечетный элемент калий вместе с тем характеризуется значительной величиной своих заряженных частиц шарообразной формы, а это, вместе с его нечетностью, вызывает постоянное стремление к странствованию, особую подвижность его заряженных электрических клубков.

Неудивительно поэтому, что вся история калия в земле связана, так же как и судьба его друга натрия, с исключительной подвижностью и сложными превращениями. Свыше ста минералов образует он в земной

коре и входит в небольшом количестве в состав еще сотни других минеральных видов. Его среднее содержание в земной коре приближается к 2,5 %. Это цифра большая, и она показывает, что калий вместе с натрием и кальцием принадлежит к элементам, преобладающим в окружающей нас природе.

В сложном геологическом прошлом нашей планеты история калия очень интересна. Она изучена детально, и мы можем сейчас нарисовать все те пути, которые проходят атомы калия, пока они снова не вернуться к началу своих странствований, завершив свой сложный жизненный круговорот.

Когда застывают в глубинах расплавленные магмы и отдельные элементы распределяются в них по своей подвижности, своей способности к странствованию, к образованию летучих газов или подвижных легкоплавных частиц, – калий принадлежит к последним. Он не выпадает в тех первых кристаллах, которые раньше других образуются в глубинах нашей Земли; мы почти не встречаем его в зеленых оливиновых глубинных породах, из которых сложены сплошные пояса земных недр. Даже в базальтовых массах, которые подстилают океаны, калия мы встречаем не больше чем 0,3 %.

В ходе сложной кристаллизации расплавленных магм в верхних их частях накапливаются более подвижные атомы Земли; здесь больше мелких, сильно заряженных ионов кремния и алюминия; здесь много нечетных атомов калия и натрия и летучих соединений воды. Из этих расплавленных остатков образуются те горные породы, которые мы называем гранитами. Они покрывают громадные участки земной поверхности, представляя собой плавающие на базальтах материка.

Граниты застывают в глубинах земной коры, и калий накапливается в них в количестве почти 2 %, входя главным образом в состав минерала, который мы называем полевым шпатом – ортоклазом. Калий входит также в состав хорошо нам известных слюд, черных и белых; в иных местах он накапливается в еще большем количестве, образуя крупные кристаллы белого минерала – лейцита, которого особенно много в богатых калием лавах Италии, где он и добывается для получения калия и алюминия.

Таким образом, колыбелью атомов калия на Земле являются граниты и кислые лавы изверженных горных пород.

Мы знаем, как на поверхности Земли они разрушаются водой, воздухом, той угольной кислотой, которой насыщены атмосфера и вода, как внедряются в них корни растений, разъедая отдельные минералы выделяемыми ими кислотами.

Тем, кто бывал в окрестностях Ленинграда, приходилось видеть, как легко разрушаются граниты на выходах и в валунах, как выветриваются их минералы, тускнеет порода и чистые кварцевые пески в виде дюн накапливаются как остатки от некогда мощных гранитных массивов.

Разрушается при этом и полевой шпат. Вода и углекислота земной поверхности извлекают из него атомы натрия и калия, оставляя своеобразный скелет листоватого минерала и образуя сложные породы, которые мы называем глиной.

С этого момента начинаются новые пути странствования наших двух друзей – калия и натрия. Впрочем, они друзья только до этого момента, ибо после разрушения гранита у каждого из них начинается своя собственная жизнь. Натрий легко вымывается водами; его ионы не задерживаются среди образовавшихся глинистых осадков. Они выносятся ручьями и реками в большие моря и там образуют тот хлористый натрий, который мы называем поваренной солью и который является главным исходным сырьем нашей химической промышленности.

Но судьба калия иная. В морских водах мы находим его лишь в небольших количествах. В самих породах натрия и калия содержится примерно одно и то же число атомов, но из тысячи атомов калия только два доходят до морских бассейнов, а 998 остаются поглощенными в почвенном покрове, в илах, в осадках морских бассейнов, болот и рек. Почва поглощает калий, и в этом ее чудодейственная сила.

Известный русский почвовед академик К. К. Гедройц первый разгадал геохимическую природу почвы. Он нашел в ней те частицы, которые задерживают различные металлы, в особенности калий, и доказал, что плодородие почвы во многом зависит от атомов калия, которые связаны в ней так легко и так свободно, что каждая клетка растения может эти атомы поглощать и использовать для своей жизни. И вот, поглощая эти плохо закрепленные, как бы свободно висящие на ниточках атомы калия, растение создает свои ростки.

Исследования показали, что калий вместе с натрием и кальцием легко извлекаются корнями растений.

Без калия растение жить не может. Мы еще не знаем точно, почему это так и какую роль играет калий в растительном организме, но опыты показали, что без калия растения вянут и гибнут.

Впрочем, не только растениям необходим калий, – он входит как существенная часть также и в животные организмы. Так, например, в мышцах человека калий преобладает над натрием. Особенно много калия в мозгу, печени, в сердце и почках. Можно отметить, что калий особенно важен в период роста и развития организма. У взрослого человека потребность в калии значительно уменьшается.

Один из циклов своей миграции калий начинает из почвы. Он извлекается из нее корнями растений, накапливается в их отмерших остатках, переходит частично в организм животного или человека и с перегноем вновь возвращается в почву, из которой его извлекла живая клетка,

Большая часть калия проходит именно этот путь, но отдельным атомам удается достигнуть больших океанов и вместе с другими солями обусловить соленость морской воды, хотя в ней все же атомов натрия в сорок раз больше, чем калия.

Здесь начинается второй цикл странствования атомов калия.

Когда большие области океанов начинают высыхать под влиянием движений земной коры, от них отделяются или мелководные моря, или отдельные озера, лиманы, лагуны, заливы, – образуются соляные озера вроде Сакского озера или озер у Евпатории на побережье Черного моря. В жаркие летние месяцы испарение воды оказывается настолько сильным, что соль из воды выпадает, выбрасывается волнами на берег и иногда накапливается на дне совершенно высохших озер в виде сверкающей белой пелены. При этом разные соли выпадают в определенной последовательности: сначала на дне кристаллизуется углекислый кальций, потом гипс (сернокислый кальций), затем хлористый натрий, то есть поваренная соль. В бассейне остается необычайно насыщенный солями рассол, который у нас на юге называется «рапой» и в котором содержатся десятки процентов различных солей и особенно солей калия и магния.

Оказывается, что калий еще более подвижен, чем натрий; проявляются свойства его больших шаровых атомов, и он продолжает свои странствования, пока еще более горячее дыхание солнца до конца не выпарит чаши озер и пока на поверхности соляных месторождений не выпадут белые и красные калиевые соли, – так образуются калиевые месторождения.

В земной коре возникают иногда крупнейшие скопления калиевых солей, которые так нужны человеку для промышленности. Здесь уже не таинственные силы почвы, не растения определяют пути калия, не солнце южных стран накапливает его на берегах соляных озер, – здесь в промышленности сам человек является агентом нового, громадного цикла странствования его атомов.

Около ста лет тому назад один из крупнейших химиков – Юстус Либих, – наблюдая роль калия и фосфора в растениях, сказал крылатые слова: «Без этих двух элементов не может быть плодородия наших полей». Ему пришла тогда в голову фантастическая для тех времен мысль, что нужно удобрять поля, нужно искусственно вносить в них разные соли, – калий, азот, фосфор – рассчитав, сколько их нужно для того, чтобы растение могло их использовать.

Его идея была встречена с недоверием специалистами сельского хозяйства 1840–1850-х годов прошлого столетия; она казалась «затеей ученого», тем более что калиевая селитра, привозившаяся на парусных судах из Южной Америки, которую он предлагал использовать для удобрения, была чрезмерно дорога и не находила себе сбыта. Источники фосфора не были известны, а предлагавшийся Либихом размол костей

давал слишком дорогие удобрения. Не знали, как использовать и калий, и только изредка, собирая золу растений, рассеивали ее по полям. У нас на Украине издавна сжигали остатки стеблей кукурузы и полученную золу рассеивали по полям, дойдя собственным умом, без помощи науки, до мысли о значении этой золы для урожая.

С тех пор прошло много лет, и вопросы удобрения превратились в одну из важнейших задач всех стран мира; плодородие почв в значительной степени стало зависеть от того, сумеет ли человек внести в них достаточное количество тех веществ, которые растения извлекли из почвы и которые человек увез с полей в виде зерна, соломы и плодов. И оказалось, что сейчас калий сделался одним из самых нужных элементов мирного труда и сельского хозяйства.

Достаточно сказать, что такие страны, как Голландия, расходовали в 1940 году на гектар до 42 т окиси калия. Правда, в других странах эта цифра значительно меньше; в Америке вносят всего около четырех тонн на гектар.

Крупные агрохимики говорят, что мы в нашей стране должны рассеивать на полях не менее одного миллиона тонн окиси калия в год.

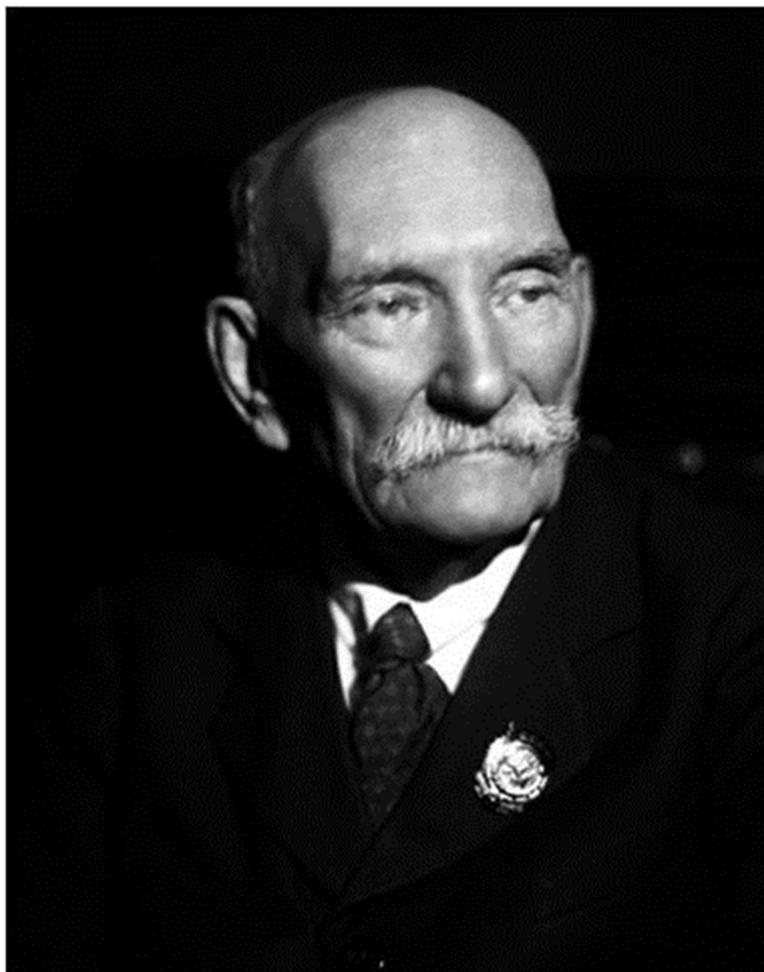
И перед человечеством встала задача – найти крупные месторождения калиевых солей, научиться их добывать и приготавливать из них удобрения.

Долгое время всей калиевой промышленностью мира владела Германия. В горах Гарца, на его восточных склонах, были открыты месторождения знаменитых стасфуртских солей; из северной Германии соли калия развозили по всем странам сотни тысяч поездов.

С этим не могли мириться те государства, для которых сельское хозяйство являлось жизненным нервом страны. Много лет, много сил и энергии потратила Северная Америка, пока она открыла у себя небольшое калиевое месторождение; некоторого успеха добились французы, открыв в долине Рейна калиевые залежи; пока шли поиски калия, стали использовать калиевые минералы из изверженных пород Италии. Но все это было ничтожно по сравнению с тем количеством, которое требовалось для истощенных почв.

Много лет русские исследователи стремились найти на территории нашей страны месторождения калия. Отдельные догадки не давали результатов, пока упорный труд целой школы молодых химиков под руководством академика Н. С. Курнакова не привел к открытию самых грандиозных в мире месторождений калия. Находка произошла случайно, но случайность в научной работе обычно все же связана с долгим подготовительным трудом, а «случайное открытие» почти всегда является просто последним шагом в долгой борьбе за определенную мысль, наградой за упорные, долгие поиски.

Так было и с открытием калия. Академик Курнаков изучал много десятков лет соляные озера нашей страны, и его мысль упорно искала, где в недрах земли можно найти остатки древних калиевых озер. Работая в химической лаборатории над составом соли старых соляных варниц Пермского края, Николай Семенович Курнаков заметил в некоторых случаях повышенное содержание калия.



Н. С. Курнаков (1860–1941)

При посещении одной из варниц он обратил внимание на маленький кусочек буровато-красного минерала, который ему напомнил красные калиевые соли – карналлиты германских месторождений. Правда, работники на самой варнице не были уверены, откуда был получен этот кусочек, не является ли он образцом из той коллекции солей, которая ими была получена из Германии. Но академик Курнаков взял этот кусочек, положил его в карман и поехал в Ленинград. Там он подверг его анализу, и, к общему удивлению, этот кусочек оказался хлористой солью калия.

Первая находка была сделана, но этого еще мало, – надо было доказать, что этот калий добыт из глубин Соликамского края и что там находятся

большие залежи. Надо было заложить буровую скважину, надо было в трудных условиях двадцатых годов достать из глубины соль и изучить ее состав.



П. И. Преображенский (1874–1944)

За это взялся один из крупнейших геологов Геологического комитета П. И. Преображенский. Он указал на необходимость закладки глубоких скважин, и вскоре эти скважины вошли в мощные слои калиевых солей, открыв новую эру в истории калия на всей земной поверхности.

Сейчас, когда прошло несколько десятков лет с момента этого исторического открытия, совершенно изменилась картина распределения запасов калия среди всех стран мира. Если мы выразим этот запас в миллионах тонн окиси калия, то большая часть запасов падает на долю Советского Союза; на Германию придется только 2500 миллионов тонн; на Испанию – 350 миллионов; на Францию – 285 миллионов и совсем немного – на Америку и другие страны. Однако далеко не все количество калия разведано в калиевых месторождениях Советского Союза.

Весьма вероятно, что наш Союз скоро еще увеличит свои запасы, и раскроются грандиозные картины миграции калия в древних пермских морях за 300–400 миллионов лет до наших дней.

Сейчас нам так представляется это отдаленное прошлое геологической истории нашей страны. Древнее пермское море охватывало весь восток Европейской части Союза. Море это было мелководной южной частью океана, заходившего к нам с севера. Отдельные его заливы, языки, заходили под самый Архангельск к Белому озеру и под Новгород. На востоке границей моря служил Уральский хребет, на юго-западе длинные рукава протягивались к Донецкому бассейну и к Харькову. На юго-востоке оно уходило далеко на юг, в область Прикаспия. Некоторые ученые полагали даже, что наше пермское море в начале своего существования сливалось и с тем великим океаном Тетис, который опоясывал землю в далекие времена пермской эпохи. Этот большой океан постепенно мелел, образуя по берегам отдельные озера, а влажный климат сменялся ветрами и солнцем пустынь.

Молодые Уральские хребты разрушались мощными горячими ветрами, – все сносилось к берегам умиравшего пермского моря. Море отходило на юг. На севере в озерах и лиманах накапливались гипс, поваренная соль. А на юге все увеличивалось и увеличивалось содержание солей калия и магния. На юго-востоке накапливалась та рапа, которую получает искусственно человек в осадочных бассейнах, например на Сакском озере. Так постепенно образовывались отдельные неглубокие моря и озера, насыщенные остаточными солями калия и магния.

Стали накапливаться отложения калиевых солей. Начиная от Соликамска и вплоть до юго-восточной части Уральского хребта тянутся отдельные калиевые месторождения, скрывающиеся под покровом почвы. Всюду буровые скважины наталкиваются на подземные мощные линзы поваренной соли, а в их верхах – и на соли калия.

Так благодаря маленькому кусочку буровато-красной соли, подмеченному зорким глазом ученого в лаборатории завода, была решена одна из самых грандиозных проблем – проблема калия. У нашей страны появилась возможность не только полностью снабдить удобрениями поля и повысить их урожайность, – перед нами открылись грандиозные возможности создания новой, калиевой химической промышленности и получения самых разнообразных солей калия, столь нужных для химического производства. Это калиевые щелочи и соли азотной, хлорной и хромовой кислот; это самые разнообразные соединения, которые все шире и шире входят в промышленность и народное хозяйство. Вместе с калием большие количества металла магния получают в виде «отбросов»; из них путем электролиза выделяется сверкающий легкий металл, а сплав его, так называемый электрон<sup>[36]</sup>, открывает новые страницы в области строительства железных дорог и самолетов.

И осуществляется сейчас мечта агрохимиков нашей страны – добывать в год столько тонн окиси калия, чтобы полностью снабдить этим ценным веществом все наши поля и увеличить их урожай.

Так рисуется перед нами история калия в земле и в руках человека.

Но есть еще одна маленькая черта у этого элемента, на которую следует обратить внимание. Любопытно то, что один из изотопов калия обладает свойствами радиоактивности, правда, в очень слабой степени, то есть он оказывается неустойчивым, – сам по себе выделяет различные лучи и превращается в атомы другого вещества, которое при дальнейших группировках образует атомы кальция<sup>[37]</sup>.

Долгое время это явление оставалось недоказанным, но потом оказалось, что действительно этот самый калий с атомным весом 40 играет большую роль в жизни Земли, так как при превращении неустойчивых атомов калия в атомы кальция выделяется значительное количество тепла. Наши радиологи подсчитали, что по крайней мере 20 % всего тепла, которое образуется в Земле под влиянием распада атомов, относится к соединениям калия, а отсюда и огромная роль распада атомов калия в тепловом хозяйстве нашей Земли.

Понятно, что биологи и физиологи попытались выяснить значение этих свойств в проблеме жизни самого растения и высказывали мысль, что чудодейственная и непонятная пока любовь растений к калию связана с тем, что атомы калия своими излучениями оказывают какое-то особое влияние на жизнь и рост клетки.

Много было сделано опытов в этом направлении, но до сих пор они не привели к каким-либо определенным результатам. По всей вероятности, роль этих разлагающихся атомов калия и их излучений весьма значительна и вызывает ряд особенностей в росте и развитии живой клетки и всего организма.

Таковы странички из геохимии калия, этого нечетного, блуждающего химического элемента. Такова история его странствования и круговорота на Земле.

О каждом химическом элементе можно рассказать такую же историю его странствований в недрах, на поверхности Земли, в промышленности, но для многих из них отдельные звенья истории ускользают пока от взоров исследователя; для многих можно написать лишь отдельные отрывки; и геохимику будущего предстоит задача – свести их в стройный, последовательный рассказ. История калия более ясна, потому что все эпохи в жизни этого важного элемента для нас очевидны.

Мы не только знаем его историю, но имеем в своих руках могучее орудие для поисков его месторождений, для технологии его использования, и еще таинственной остается для нас только его роль в живом организме, – пожалуй, самая интересная и самая важная страница его истории!

## **Железо и железный век**

Железо – не только самый главный металл окружающей нас природы, – оно основа культуры и промышленности, оно орудие войны и мирного труда. И трудно во всей таблице Менделеева найти другой элемент, который был бы так связан с прошлыми, настоящими и будущими судьбами человечества. Прекрасно говорит о железе один из первых минералогов древнего Рима – Плиний Старший, который погиб в 79 году нашей эры во время извержения Везувия, задушенный «прахом и пеплом, изверженными из огнедышащей горы», как писал о нем минералог Василий Михайлович Севергин более ста лет назад.

В его прекрасном переводе мы читаем яркие страницы из истории железа, как она рисовалась Плинию: «Железные рудокопи доставляют человеку превосходнейшее и зловреднейшее орудие. Ибо сим орудием прорезываем мы землю, сажаем кустарники, обрабатываем плодовые сады и, обрезывая дикие лозы с виноградом, понуждаем их каждый год юнеть. Сим орудием выстраиваем дома, разбиваем камни и употребляем железо на все подобные надобности. Но тем же самым железом производим брани, битвы и грабежи и употребляем оное не только вблизи, но мещем окрыленное вдаль, то из бойниц, то из мощных рук, то в виде оперенных стрел. Самое порочнейшее, по мнению моему, ухищрение ума человеческого. Ибо, чтобы смерть скорее постигла человека, соделали ее крылатою и железу придали перья. Того ради да будет вина приписана человеку, а не природе».

Через всю историю человечества проходит борьба за железо, начиная с IV–III тысячелетия до нашей эры, когда человек впервые научился владеть этим металлом. Может быть, вначале он подбирал упавшие с неба камни – метеориты и из них создавал изделия, подобные тем, которые мы встречаем и у ацтеков Мексики, и у индейцев Северной Америки, и у эскимосов Гренландии, и у обитателей Ближнего Востока. Недаром существует древняя арабская легенда о том, что железо – небесного происхождения. На коптском языке оно даже называется «камнем неба»; арабы же, повторяя древние сказания египтян, говорили, что с неба падают в Аравийскую пустыню капли золота; на земле золото превращается в серебро, а потом в черное железо – в наказание племенам, борющимся за овладение небесным даром.

Долгое время железо не могло иметь широкого распространения, так как выплавлять его из руд было трудно, а камней, падающих с неба, – метеоритов – было мало.

Только с первого тысячелетия нашей эры человек научился выплавлять железные руды; и на смену бронзовому веку пришел тот век железа, который в истории культуры продолжается и до наших дней.

В сложной исторической жизни народов борьба за железо, как и за золото, играла всегда огромную роль, но настоящее овладение этим металлом было невозможно ни для металлургов Средних веков, ни для алхимиков, и началось оно только с XIX века; и постепенно железо превратилось в важнейший металл промышленности. С развитием металлургии мелкие кустарные железные сыродутные печи сменились домнами; на их месте выросли грандиозные металлургические заводы-гиганты производительностью в тысячи тонн, которыми мы любуемся, например, в Магнитогорске.

Месторождения железных руд стали основой богатства отдельных стран. Грандиозные запасы железа в несколько миллиардов тонн в Лотарингии явились причиной борьбы за них. Мы знаем, что в семидесятых годах XIX века шла борьба между Францией и Германией за овладение миллиардными запасами руд Рейнских месторождений.

На наших глазах прошла борьба Англии и Германии за Кирунавару, за тот замечательный рудник полярной Швеции, который дает в год до 10 миллионов тонн превосходных железных руд. Мы знаем, как постепенно открывала свои железные богатства Россия и овладевала ими, начиная с Кривого Рога и Урала и кончая грандиозными запасами железа в месторождениях Курской аномалии<sup>[38]</sup>.

Многочисленные месторождения нашей страны создают мощь ее промышленности, давая металл для рельсов, мостов, паровозов, сельскохозяйственных машин и других орудий мирного труда.

Цифры роста добычи чугуна и стали достигают сейчас многих миллионов тонн в год.

В годы войны во время отдельных сражений железо выпускалось в снарядах и бомбах в количествах, равных отдельным месторождениям. Например, сражение при Вердене (1916 год) превратило поля этого укрепленного района в новое «месторождение» стали.

Это и неудивительно, потому что в этой битве были дни, когда орудия выпускали в час по сто – двести тысяч тяжелых снарядов, несущих до полутонны металла<sup>[39]</sup>.

В борьбе за металл постепенно намечаются новые пути развития современной металлургии.

Часто железо и сталь заменяются новыми сортами высококачественной стали, и редкие металлы – хром, никель, ванадий, вольфрам и ниобий, – добавленные в сплавы в количествах десятых долей процента, укрепляют свойства металла, делая его твердым, неподатливым и устойчивым.

В борьбе за улучшение металла, за новые химические реакции, в огромных домнах и сталелитейных цехах решается одна из основных задач человечества. Железо уходит из рук человека; это не золото, которое накапливается в сейфах и банках и лишь незначительная часть

которого теряется, распыляясь. Железо неустойчиво на поверхности Земли, в окружающей нас обстановке; мы сами знаем, как оно легко покрывается ржавчиной. Достаточно мокрый кусок железа оставить на воздухе, чтобы он очень скоро покрылся ржавыми пятнами; достаточно не окрасить железную крышу масляной краской, чтобы уже через год ржавчина проела в ней огромные дыры. Мы находим в земле железные орудия старых веков, превращенные в бурые водные окислы; копья, стрелы, броня – все это гибнет, подчиняясь великому химическому закону окисления железа под влиянием кислорода воздушной стихии. И перед человечеством стоит задача исключительной важности – бороться за сохранение железа.

Человек не только улучшает качества металла теми добавками, о которых я говорил, – он покрывает железо слоем цинка или олова, превращая в жель; хромирует и никелирует ответственные части машин, красит его различными красками, обрабатывает фосфорными солями. Различными методами борется человек, стараясь предохранить железо от окисляющей деятельности окружающей нас влаги и кислорода. И надо сказать, что ему это очень трудно дается; он придумывает новые методы, применяя цинк, кадмий; он выискивает вместо олова другие заменители. Но природные химические процессы идут стихийно; и чем больше будет человек добывать железа из земных недр, чем шире он будет развивать черную металлургию, тем все важнее будет задача охраны этого металла.

Как странно говорить об охране металла – железа, когда, казалось бы, его так много около нас. А между тем недавно собирались большие геологические конгрессы, где геологи, подсчитав запасы железных руд, указывали на грядущий железный голод; они предсказывали, что через 50–70 лет иссякнут мировые месторождения и человечество должно будет заменить этот металл другим. Они говорили о том, что бетон, глина и песок заменят железо в строительстве, промышленности и жизни. Но время течет, и как будто уже приближаются годы истощения запасов, а геологи открывают все новые и новые месторождения железа. Запасы железных руд в Советском

Союзе вполне удовлетворяют нашу промышленность, и не видно конца новым открытиям их.

Железо принадлежит к важнейшим металлам мироздания. Мы видим его линии во всех космических телах, они сверкают нам в атмосферах раскаленных звезд, мы видим атомы железа, бурно мятущиеся на солнечной поверхности, они падают к нам ежегодно на землю в виде тонкой космической пыли, в виде железных метеоритов. В штате Аризона, в Южной Африке, у нас в бассейне Подкаменной Тунгуски упали грандиозные массы самородного железа, этого важнейшего металла мироздания. Геофизики утверждают, что весь центр Земли состоит из массы никелистого железа и что наша земная кора есть такая

же окалина, как те стекловидные шлаки, которые вытекают из доменной печи во время выплавки чугуна<sup>[40]</sup>.

Но для промышленности недоступны еще ни грандиозные массы железа из космоса, ни залежи в глубинах нашей планеты, – мы живем и работаем на тоненькой пленке Земли, и нашей металлургии приходится рассчитывать лишь на те несколько сотен метров глубины, из которых современное горное искусство позволяет извлекать железные руды.

Между тем геохимики раскрывают нам историю железа. Они говорят о том, что даже земная кора на 4,2 % состоит из железа, что из металлов только алюминия больше в окружающей нас природе, чем железа. Мы знаем, что оно входит в состав тех расплавленных масс, которые в виде оливиновых и базальтовых пород застывают в глубинах как самые тяжелые и первозданные породы.

Мы знаем, что сравнительно мало железа остается в гранитных породах, о чем говорят их светлые – белые, розовые, зеленые – краски. Но на земной поверхности сложные химические реакции все же накапливают огромные запасы железной руды. Одни из них образуются в субтропиках, там, где периоды тропических дождей сменяются яркими солнечными днями знойного лета, где все растворимое вымывается из горных пород и образуются большие скопления – корки руд железа и алюминия.

Мы знаем, как на дно озер северных стран, например нашей Карелии, бурные воды, содержащие органическое вещество, приносят весной огромные количества железа из разных горных пород; на дне озер, куда стекают воды, осаждаются горошинки или целые стяжения железа при участии особых железных бактерий... Так, в болотах, морских глубинах, в течение долгой геологической истории нашей Земли образовались скопления железных руд; и нет никакого сомнения, что в ряде случаев животная и растительная жизнь оказала свое влияние на образование этих месторождений.

Так образовались крупные Керченские месторождения; так образовались, по всей вероятности, и огромные запасы железных руд Кривого Рога и Курской магнитной аномалии.

Руды этих двух последних месторождений так давно были отложены водами древних морей, что горячее дыхание глубин успело изменить их строение, и вместо бурых железняков, как в Керчи, мы видим здесь измененные черные руды, состоящие из железного блеска и магнитного железняка.

Странствование железа не прекращается на земной поверхности. Правда, в морской воде его накапливается очень мало; и правильно говорят, что эта вода практически совершенно не содержит железа. Однако в особых, исключительных условиях даже в море, в мелководных заливах отлагаются железистые осадки, целые железорудные залежи, которые встречаются и в ряде древних морских отложений. Так образовались наши знаменитые железорудные месторождения на

Украине близ Хопра, Керчи и Аяти. Но на земной поверхности – в ручьях, реках, озерах, болотах – всюду странствует железо; и растения всегда находят для себя этот важный химический элемент, без которого невозможна растительная жизнь.



Базальтовые образования. Исландия

Попробуйте лишить железа горшочек с цветами, и вы увидите, что цветы скоро потеряют свои краски и запах, листья сделаются желтыми, начнут сохнуть. Тот живительный хлорофилл, который создает всю силу живой клетки, который извлекает углерод из углекислоты, отдавая кислород воздуху, – этот хлорофилл без железа существовать не может, так как присутствие последнего является необходимым условием для его образования.

Так в растении, в живом организме завершается круговорот железа на Земле, и красные кровяные шарики в крови человека являются одним из последних этапов в странствовании этого металла, без которого нет ни жизни, ни мирного труда.

## ***Стронций – металл красных огней***

Кто не знает красивых бенгальских огней или ярких ракет, красные искры которых медленно потухают в воздухе, сменяясь столь же яркими, но зелеными огнями! В наши большие праздники тысячами огней переливаются, горят яркие свечи, вращающиеся солнца, шипящие ракеты ночных фейерверков, разгоняя красным или зеленым, желтым или белым светом ночную тьму. Эти же красные огни ракет поднимаются над морем с кораблей в минуту грозной опасности, они сбрасываются с самолетов для ночной сигнализации, они переговариваются своим шифрованным языком во время подготовки ночных атак и бомбардировок.

Мало кто знает, как делают эти яркие «бенгальские» огни, которые получили свое название из Индии: там во время священных служений жрецы наводили страх на молящихся, неожиданно зажигая в полумраке храмов таинственные мертвенно-зеленые или кроваво-красные огни.

Не всем известно, что эти огни получают из солей стронция и бария – двух своеобразных металлов, которых долго не умели отличить друг от друга, пока не подметили, что один на огне светится зеленовато-желтым светом, а другой – ярко-красным. Очень скоро затем научились получать летучие соли этих двух металлов, смешивать их с бертолетовой солью, углем и серой и из этой смеси прессовать шарики, цилиндры и пирамиды, которыми начиняются ракеты и трубки фейерверков.

Такова одна из последних страниц долгой и сложной истории этих двух элементов. Может быть, вам было бы и скучно, если бы я стал подробно рассказывать о длинном пути, который проходят атомы стронция и бария в земной коре, начиная его с расплавов гранитных и щелочных магм и кончая на промышленных предприятиях: в сахарном производстве, в оборонной промышленности, в металлургии, в приготовлении фейерверков. Надо сказать, что еще студентом Московского университета я прочел в одной волжской газете замечательный рассказ казанского ученого о минералах стронция. Этот талантливый минералог рассказывал о том, как он вместе с товарищем собирал на берегу Волги красивые голубые кристаллы минерала целестина. Он писал о том, как возникли эти голубые кристаллы из рассеянных атомов в пермском известняке, каковы их свойства и применение; этот красивый рассказ так резко запечатлелся в моей памяти, что в течение многих десятков лет я помнил о голубом минерале целестине, названном так от латинского

слова «целум» – «небо» за его красивую небесно-голубую окраску.



Салют в Ленинграде

Много лет я мечтал найти этот камень, и вот в 1938 году мне повезло. Неожиданная находка заставила меня вспомнить этот замечательный рассказ.

Мы отдыхали в Кисловодске на Северном Кавказе. После тяжелой болезни я не мог еще ходить по горам, а между тем меня тянуло к скалам, каменоломням и каменным обрывам.

Около нашего санатория строили красивое здание нового дома отдыха. Его отделывали розовым вулканическим туфом, привезенным из Армении, из селения Артик, и названным по его имени артикским. Ограду и ворота выкладывали из желтоватого доломита, который аккуратно обтесывали молоточками, выделявая красивые орнаменты и украшения.

Я повадился ходить на стройку, подолгу смотрел, как умелой рукой рабочий обтачивал мягкий доломитовый камень, отбивая отдельные более плотные части. «В этом камне, – сказал один из них, – встречаются вредные твердые желваки, мы их называем „болезнью камня“, потому что они вредят обработке; мы их выламываем и бросаем вон туда в кучу».

Я подошел посмотреть и вдруг в одном разломанном желвачке увидел какой-то голубой кристаллик: о, это был настоящий целестин! Чудная

прозрачная голубая иголочка, как светлый сапфир с острова Цейлон, как светлый, выгоревший на солнце василек.

Я взял молоток у рабочего, разломал лежавшие желвачки и онемел от восторга. Передо мной были дивные кристаллы целестина. Целыми щетками голубого цвета выстилала они свободные пустоты внутри желвачков. Среди них лежали белые прозрачные кристаллы кальцита, а сам желвачок был образован кварцем и серым халцедоном, плотной и прочной оправой целестинового ожерелья.

Я расспросил рабочих, где добывают доломит для постройки. Они указали мне путь на каменоломни. Не прошло и двух дней, как рано утром мы сели на типичную кавказскую линейку и поехали по пыльной дороге туда, где добывали доломит. Мы ехали вдоль бурной речки Аликоновки, проехали красивое здание «Замка коварства и любви». Долина суживалась, превращаясь в ущелье; обрывистые склоны нависали карнизами известняков и доломитов; и скоро вдали мы увидели ломки с громадными шлейфами обломков и кусков боковых пород. Сначала нам не везло. Большие желваки, которые мы, не жалея рук, упорно разбивали, были с кристалликами кальцита и горного хрусталя или с натечными массами белого и серого опала и полупрозрачного халцедона; но вот мы наконец попали на нужное место. Один за другим откладывали мы штуфы ярко-голубого целестина, аккуратно сносили их вниз, бережно заворачивали в бумагу и снова ползли по отвалам, собирая дивные образцы. С гордостью мы привезли наши образцы в санаторий, разложили, вымыли, но нам все было мало. Прошло всего несколько дней, и мы снова тряслись на лошадке за голубым целестином.

Наша комната была вся загромождена глыбами доломита с голубыми глазками; с укоризной посматривал на нас главный врач санатория, а мы тащили все новые и новые образцы. Наше поведение заинтриговало соседей и других лечащихся в санатории. Все заинтересовались голубым камнем; некоторые даже пошли по нашим стопам на каменоломню доломита и, нам на зависть, привезли тоже очень хорошие образцы.

Никто не понимал, для чего мы собирали этот камень.

И как-то раз в скучный осенний вечер наши товарищи по лечению попросили меня рассказать им о том, что это за голубой камень, почему он образовался в желтом доломите Кисловодска и какой в нем толк. Мы собрались в уютной комнате; я разложил перед слушателями образцы и, немножко смущенный неожиданной аудиторией, в которой многие не знали ни химии, ни минералогии, начал свой рассказ.

...Давно, давно, несколько десятков миллионов лет назад верхнеюрское море докатывало свои волны до мощных, тогда уже существовавших Кавказских хребтов. Море то отступало, то вновь заливало берега,

размывало гранитные скалы и отлагало по берегам тот красный песочек, которым теперь посыпаны дорожки около санатория.

В мелких заливах, в разливах бурных рек, стекавших с горных вершин древнего Кавказа, образовались большие соляные озера; юрское море отступало к северу, а вдоль берегов, на дне озер, лиманов и мелких морей осаждались глинистые наносы, пески, откладывались прослоечки гипса, а местами и каменной соли.

В более глубоких местах осаждались сплошные слои того желтого доломита, который всем вам, кисловодцам, хорошо известен по знаменитой лестнице к «Красным камням» и по прекрасным зданиям санатория Министерства угольной промышленности. Этот доломит сейчас образует большие толщи равномерной желтой, серой и белой окраски.

Но как сложно и разнообразно складывалась судьба того моря, из которого выпали эти осадки! По берегам оно кишело многочисленными живыми существами. Здесь мы могли бы любоваться той пестрой картиной жизни, которая поражает нас на скалах у Средиземного моря и даже в теплых заливах Кольского фиорда.

Разнообразные сине-зеленые и багряные водоросли, раки-отшельники с их красивой раковинкой, улитки и раковинки самых различных форм и окрасок – все это населяло скалы, покрывая их пестрым ковром. В воде мелькали морские ежи с их красными иглами, большие пятилучевые звезды с извилистыми лучами, медузы всевозможных форм.

На дне прибрежной полосы, на камнях в бесчисленных количествах жили маленькие радиолярии; некоторые из них были прозрачны как стекло и состояли из чистого опала, другие представляли собой мелкие белые шарики не больше одного миллиметра, с маленьким стебельком, в три раза большим, чем туловище. Они сидели на камнях, на красивых зарослях мшанок, а иногда покрывали даже иглы морских ежей, путешествуя с ними по морскому дну.

Это были знаменитые радиолярии-акантарии, скелеты которых состояли из иголок, числом от 18 до 32. Долгое время никто не знал, из чего они образованы, и только случайно было обнаружено, что они состоят не из кремнезема, не из опала, а из сернокислого стронция. Эти бесчисленные радиолярии накапливали в сложном жизненном процессе соль сернокислого стронция, извлекая ее из морской воды, и постепенно строили свои кристаллические иголки.

Отмирающие радиолярии падали на дно моря. Так было положено начало скоплениям одного из редких металлов, который попал в прибрежные воды кавказских морей из размытых гранитных массивов, из тех белых полевых шпатов, которые, как вы все хорошо знаете, входят в состав гранитов Кавказа.

Может быть, мы бы никогда и не догадались о существовании этих акантарий в верхнеюрских морях и химикам не пришло бы в голову искать стронций в чистых известняках и доломитах наших каменоломен, если бы в те отдаленные геологические времена новое событие не нарушило покой старых осадков юрских морей.

Кавказ начал переживать новые пароксизмы своей вулканической деятельности. Вновь извергались расплавленные массы, началось образование горных хребтов, по трещинам и разломам на земную поверхность стали изливаться горячие пары и источники, а в районе Минеральных Вод, вздымая пласты меловых и третичных пород, возникали знаменитые лакколиты, горы Бештау, Железная, Машук и другие<sup>[41]</sup>.

Горячее дыхание глубин пропитывало известняки, осадки гипсов и солей, они образовывали целые подземные моря и реки минеральных вод то холодных, то согретых еще дыханием земли; эти воды пронизывали по трещинкам доломиты и известняки в старых отложениях, своими химическими растворами заставляя их перекристаллизовываться и превратиться в тот красивый и прочный доломитовый камень, из которого строятся дома.

Под влиянием сложных химических реакций мельчайшие рассеянные атомы стронция, остатки радиолярий-акантарий переходили в раствор и вновь осаждались в пустотах юрских доломитов, вырастая в красивые кристаллы синего целестина.

Так в течение многих тысяч лет постепенно шло образование наших целестиновых жеодок, и сейчас, когда к ним проникают холодные растворы земной поверхности, кристаллы целестина блекнут, делаются непрозрачными, разъедаются их блестящие грани, а атомы стронция вновь начинают странствовать по земной поверхности в поисках новых, более устойчивых химических соединений.

И такая картина из истории наших кисловодских целестинов, которую я сейчас нарисовал, повторяется во многих районах нашей страны. Всюду, где на протяжении истории земной коры исчезали большие морские бассейны и образовывались мелкие моря и соляные озера, – там умирали шарики акантарий, и из маленьких иголочек когда-то живых акантарий в течение десятков миллионов лет вырастали кристаллики стронция. Сплошным кольцом целестиновых пород опоясаны горные хребты Средней Азии, в древнейших морях силура рисуются нам такие же кристаллы в Якутской республике, но самые крупные месторождения связаны с морями пермской эпохи, отложившими огромное количество целестина в известняках Поволжья и Северной Двины.

Я не буду вам рассказывать о том, что происходит дальше в земной коре с кристалликами целестина. Многие из них, как мы видели, вновь начинают растворяться, их атомы попадают в почву, уносятся водами, растворяются в безбрежных просторах океанов, снова накапливаются в

соляных озерах и морских лиманах, снова образуют иголки акантарий и снова, через миллионы лет, вырастут в новые кристаллы целестина.

В этой постоянной смене химических процессов, в сложной цепи природных явлений минералог и геохимик схватывает лишь отдельные разрозненные странички, отдельные звенья. Ему нужно опытным глазом, тонким анализом и глубокой научной мыслью проникнуть в сложные пути странствования атома в мироздании. Из отрывков он воссоздает целые страницы, из отдельных страниц он составляет ту великую книгу химии Земли, которая рассказывает нам от начала до конца, как странствует атом в природе, с кем он делит общие пути, где он находит свою спокойную или беспокойную смерть в виде устойчивых кристаллов, где рассеянные атомы вечно меняют своих спутников, то вновь переходя в раствор, то бесконечно рассеиваясь в великом просторе природы.

И геохимик должен понять эти сложные пути атома.

По мельчайшему кристаллику он должен добраться, как по тоненькой ниточке, до начала клубка. Разве мы можем сейчас говорить о начале истории атомов стронция?

Где и как зародились они в истории Вселенной?

Почему сверкают линии стронция в некоторых звездах с особой яркостью, что делают и откуда появились линии стронция в светящихся лучах Солнца? Как накопился этот металл в поверхностной земной коре, как собрался в расплавах гранитных магм, как вместе с кальцием накопился в белых кристаллах полевых шпатов?

Это все вопросы, на которые геохимик не может дать ответа. Он не может рассказать об этом так ясно, как я только что рассказал историю голубых кристаллов целестина в окрестностях Кисловодска. И так же мало он может рассказать и о последних страницах в истории атома стронция.

Долгое время человек не обращал на него внимания. Иногда пользовался им для красных огней, но для этого не надо было добывать много солей стронция из недр Земли. Но вот один химик нашел удачное применение стронция в сахарном производстве: он открыл, что стронций с сахаром образует особое соединение, сахарат стронция, и что его с успехом можно применить для очистки сахара от мелассы. И вот началось широкое использование этого металла, добыча его в Германии и Англии достигла крупных размеров. Но другой химик нашел, что стронций можно заменить более дешевым кальцием. Стронциевый метод оказался ненужным, и снова стали забывать этот металл, закрыли рудники и лишь кое-где, используя отбросы его солей, перерабатывали их для красных огней.

Но вот началась империалистическая война 1914–1917 годов. Потребовались в огромных количествах сигнальные ракеты. Красные огни, пронизывающие туман, сделались необходимыми для освещения

пространств, для аэросъемки; солями редких земель и стронция стали пропитывать угли прожекторов. Стронций нашел новое применение.

Затем металлурги научились получать металлический стронций. Подобно металлическому кальцию и барию, он очищает черный металл от вредных газов и примесей.

Его стали применять в черной металлургии. Химики, технологи-металлурги и производственники вновь заинтересовались стронцием; и сейчас, когда я рассказываю о голубом минерале целестине, геохимики вновь разыскивают его месторождения, изучают скопления стронция в пещерах Средней Азии, добываются на больших заводах его соли, извлекают их из минеральных вод, – словом, стронций снова сделался элементом промышленности и хозяйства. Как сложится дальше его судьба, мы не знаем. Как первая, так и последние страницы истории этого металла нам, геохимикам, еще не известны...

Так кончил я свой рассказ о синем камне моим слушателям в санатории.

Никому не нужные синие кристаллики превратились в их глазах в частицу нашей социалистической стройки. Все стали менее косо поглядывать на наши утренние поездки на каменоломни, даже главный врач перестал ворчать, что мы завалили всю комнату камнями и нарушаем священный санаторный режим. Словом, целестин нас снова помирил.

И тогда я решил даже написать о нем рассказ. Он напечатан в моей книжке – «Воспоминания о камне».

Тем из вас, кому не наскучило читать этот очерк, я советую прочесть и тот рассказик, чтобы лучше запомнить, что за прекрасный камень наш голубой целестин.

## ***Олово – металл консервной банки***

Олово – скромный, ничем как будто не выдающийся металл. Мы редко слышим о нем в повседневной жизни, хотя пользуемся им очень часто...

Судьба этого металла – служить человеку не под своим именем. Бронза, жель, припой, баббит, типографский камень, артиллерийский металл, станиоль, «итальянский» порошок, красивые фарфоровые эмали, краски и тому подобное, – многим никогда и в голову не приходит, что самой существенной составной частью этих разнообразных и полезных предметов является олово.

Этот металл отличается замечательными и очень своеобразными свойствами; некоторые из них еще остаются загадочными и пока полностью геохимически не раскрыты.

Источником олова является поднимающаяся из недр Земли гранитная магма, богатая кремнеземом, как принято ее называть, – «кислая». Однако далеко не во всякой кислой магме обнаруживается олово, и мы

до сих пор не знаем, какому закону подчиняется связь олова с гранитом, почему в одном граните оно есть, а в другом, как будто совершенно таком же, его почти нет.

Другой интересный вопрос: почему олово, тяжелый металл, наперекор своей тяжести, не тонет в магме, как многие другие тяжелые металлы, а стремится вверх и оказывается в самой верхней части гранитного массива?

Дело в том, что среди растворенных в магме энергичных сильно летучих паров и газов большую роль играют галогены – хлор и фтор. Мы знаем из опыта, что олово соединяется с этими газами даже при комнатной температуре. В магме оно образует с этими газами очень летучие соединения – фториды и хлориды олова. И в таком газообразном виде олово вместе с другими летучими соединениями – кремния, натрия, лития, бериллия, бора и другими – прокладывает себе путь в верхнюю зону застывающего гранитного массива и даже за его пределы, в трещины покровных пород.

Здесь, при изменившихся физико-химических условиях, фтористое и хлористое олово вступает в реакцию с водяными парами. Олово, оставив своих прежних переносчиков, соединяется с кислородом, взятым у воды, и выделяется уже не в газообразной форме, а в виде твердого блестящего минерала – *касситерита* (от греческого слова «касситерос» – олово), оловянного камня, – главной промышленной руды олова. Вместе с касситеритом выделяется иногда много других интересных минералов: топаз, дымчатый горный хрусталь<sup>[42]</sup>, берилл, плавиковый шпат<sup>[43]</sup>, турмалин, вольфрамит, молибденит и другие.

Сравнительно недавно мы узнали, что крупные месторождения касситерита образуются не только из летучих галоидных соединений гранитной магмы. Они возникают и в более поздние периоды застывания гранитного остатка, когда водные пары превращаются в воду, разносящую далеко от материнского очага соединения различных металлов, чаще всего в виде сульфидов – соединений с серой. Многие в этих процессах нам еще не вполне ясно. Но мы знаем, что олово выносится из магмы также и этим путем. Замечательно, что, используя на этот раз в роли переносчика серу, олово отбрасывает и ее, как раньше отбрасывало галогены, и соединяется с кислородом, образуя все тот же излюбленный свой минерал – касситерит.

Олово известно нам и в составе многих других минералов. Но все они встречаются очень редко, некоторые – исключительно редко, и промышленное значение их совершенно ничтожно. Оловянной рудой всегда был и пока остается только касситерит –  $\text{SnO}_2$ , содержащий в чистом виде около 78,5 % олова.

Касситерит – большею частью черный или буроватый минерал. Черный цвет его объясняется примесями железа и марганца. В редких случаях он бывает медово-желтый или красный, еще реже – бесцветный.

Кристаллы его обычно очень небольшие. Благодаря своей твердости, химической стойкости и тяжести касситерит при выветривании гранитов не разрушается и не рассеивается, а накапливается, вместе с другими тяжелыми минералами, на местах разрушения гранитов – в руслах рек или на морских побережьях, образуя иногда обширные россыпи – залежи оловянного камня.

Таким образом, касситерит добывается или из коренных месторождений, или из вторичных месторождений – россыпей.

Добытая тем или иным способом оловянная руда подвергается прежде всего процессу обогащения, то есть очистке от различных примесей, а затем уже идет в плавку. При этом олово восстанавливается углеродом топлива. Кислород, соединяясь с углеродом, выделяется в виде углекислоты, и остается металлическое олово.

Чистое олово, выплавленное из касситерита, – мягкий, серебристо-белый (немного более тусклый по сравнению с серебром), ковкий металл. Замечательна способность олова раскатываться на тонкие листочки. Плавится олово при температуре 231°.

Своеобразны очень многие свойства олова. Известна способность олова «кричать», то есть издавать при сгибании особый, характерный звук. Другой оригинальной, но далеко не такой безразличной особенностью этого металла является его чувствительность к холоду. На холоде олово «заболевает» – вместо серебристо-белого становится серым, увеличивается в объеме, начинает крошиться и нередко рассыпается в порошок. Эта тяжелая болезнь, и ее зовут «оловянной чумой». Она погубила немало оловянных предметов большой художественной и исторической ценности. Заболевшее олово может заразить здоровый металл. К счастью, оловянная чума поддается лечению. Нужно переплавить и медленно охладить металл. Если эту операцию (главным образом охлаждение) произвести достаточно тщательно, олову возвращаются прежний вид и свойства.

В далеком-далеком прошлом именно олово дало могучий толчок культурному развитию человека. Олово известно человеку очень давно. За пять-шесть тысяч лет до нашей эры, гораздо раньше, чем человек научился выплавлять и обрабатывать железо, он уже умел выплавлять олово.

Чистое олово – мягкий и непрочный металл, непригодный для изготовления изделий. Но бронза (от персидского слова «бронтпсион» – «сплав») – сплав золотистого цвета, состоящий из меди с 10 % олова, – отличается прекрасными свойствами: он тверже меди, отлично отливается, куется и обрабатывается. Если мы обозначим твердость олова условным числом 5, то медь будет иметь твердость 30, а сплав меди с небольшим количеством олова – бронза – обладает твердостью 100–150. Эти качества и обеспечили бронзе в свое время столь широкое распространение, что археологи даже выделяют особую эпоху –

*бронзовый век*, – когда орудия труда и оружие, а также домашнюю утварь и украшения делали по преимуществу из бронзы. Как был открыт человеком этот замечательный сплав, мы не знаем. Можно предположить, что человек много раз плавил медную руду с примесью олова (такие «комплексные» месторождения меди и олова встречаются) и в конце концов заметил результат этой совместной плавки и понял ее значение.

При археологических раскопках древних поселений очень часто среди других предметов находят хорошо сохранившиеся бронзовые изделия – предметы обихода, монеты, бронзовые фигурки. Если нужно установить, являются ли эти бронзовые изделия местными или привозными, то ценные указания в этом отношении может дать химический анализ этих предметов.

Очистка древнего металла была очень несовершенной, и современными точными методами анализа в нем можно обнаружить много различных элементов в виде незначительных примесей – загрязнений. По составу этих загрязнений иногда можно предположить, из каких месторождений были получены медь и олово, входящие в состав данной бронзы. Если историку или археологу удастся доказать, что найденные бронзовые предметы изготовлялись в месте их находки, то геолог и геохимик немедленно должны произвести поиски на олово в этом районе. Таким путем можно вновь найти давно забытые месторождения олова.

Но и позднее, когда на смену бронзовому веку пришел век железный, бронза не потеряла своего значения. Человек делал из нее предметы искусства, стал чеканить монету и отливать колокола и орудия.

Олово обладает способностью образовывать замечательные сплавы и с другими металлами, например со свинцом, сурьмой и тому подобным.

В наше время сплавы – это область технических чудес, мир «волшебных» превращений. Ученые изучили и истолковали эти «чудесные» явления, эти перегруппировки атомов, совершающиеся при сплавлении двух или нескольких металлов. Благодаря изменениям молекулярной структуры сплав получает новые свойства, чуждые каждому из металлов, взятому в отдельности. Часто, например, сплав мягких металлов приобретает неожиданно высокую твердость.

Сплавы олова со свинцом, так называемые *бabbиты*, применяются в мощных и точных аппаратах и станках, там, где нужно обезвредить действие вращающегося с огромной быстротой стального стержня. Это так называемые «антифрикционные» – очень стойкие против истирания сплавы (как говорят, с низким коэффициентом трения). Техническое значение их очень велико: они надолго продлевают срок работы дорогих машин.

Олово обладает замечательной способностью «привариваться» к металлам; на этом свойстве основано применение в технике так называемых «припоев», то есть сплавов олова со свинцом и сурьмой.

Не всем известно значение олова в типографском деле. Оно входит главной частью в состав так называемого «типографского металла», из которого отливаются литеры и клише, то есть формы с рельефным рисунком, служащие для воспроизведения иллюстраций.

Ничто не придает при полировке такого зеркального блеска прекрасным белым и многоцветным мраморам, как белый порошок окиси олова, который часто называют «итальянским порошком».

Различные соединения олова широко применяются в химической, резиновой промышленности, в ситцепечатании, в крашении шерсти и шелка, в изготовлении эмалей, глазурей, цветных стекол, сусального золота и серебра, не говоря уже о весьма важном значении олова в военном деле.

Древнейшие месторождения олова известны в Азии, а также и в Европе на юге Британских островов, которые даже назывались «касситеридами». Трудно сказать, однако, – минерал ли касситерит получил название от островов или острова были названы от греческого слова «касситерос», которое еще в «Илиаде» Гомера встречается для обозначения олова. Замечательно, что касситерит на английском полуострове Корнуэлл встречается вместе с медным минералом халькопиритом, так что при плавке этой руды сразу можно получить бронзу.

Главным источником олова в настоящее время, дающим около половины мировой добычи этого металла, является полуостров Малакка.

Здесь известно свыше двухсот месторождений в гранитах и громадное количество богатых россыпей. Россыпи разрабатываются гидравлически; на них направляется сильная струя воды из мощных мониторов. Жидкая грязь, состоящая из смеси разных минералов, стекает в особые каналы с порогами и усиленно перемешивается рабочими из местного населения. Этот тяжелый труд выполняется главным образом детьми. Касситерит благодаря высокому удельному весу задерживается около порогов, откуда время от времени выгребается. Способ добычи, как видите, очень примитивен.

Концентрат, содержащий 60–70 % касситерита, перевозят на заводы, где из него выплавляют олово.

Страны ведут между собой жестокую борьбу за олово. В годы Второй мировой войны Япония стремилась захватить в свои руки оловянные месторождения на материке и островах и оловоплавильные заводы в Сингапуре, принадлежавшие английским фирмам, чтобы обеспечить нужды своей военной промышленности и помочь гитлеровской Германии, которая остро нуждалась в олове. Одновременно преследовалась цель – лишить США и Англию источников этого важного военного металла.

Посмотрите на географическую карту мира: полоса оловоносных гранитов и связанных с ними месторождений олова, а также вольфрама и висмута, тянется по побережью Тихого океана, проходя с юга на север через острова Биллитон, Банка, Синкеп, полуостров Малакка, Таиланд, Южный Китай.

Геохимия стремится разгадать причину образования подобных полос или зон, в которых располагаются богатые месторождения оловянных руд и других химических соединений, встречающихся вместе с оловом.

Кроме Малакки, богатейшие скопления олова имеются в Боливии (Южная Америка). Они расположены на горном хребте Кордильер. Менее мощные месторождения известны в Австралии, на острове Тасмания, и в Бельгийском Конго (Африка).

Из ежегодно добываемых во всем мире около 200 тысяч тонн олова 40–50 % идет на изготовление жести.

Потребление белой жести резко возрастает по мере развития и роста консервной промышленности.

Задумывались ли вы о значении жести, о роли жестяной коробки, в которой хранятся миллионы килограммов мяса, рыбы, овощей, фруктов? Что такое жесьть? Это листовое железо, покрытое тонким слоем олова, около сотой доли миллиметра толщиной. Покрытие оловом, или лужение, железных листов или железных банок предохраняет их от ржавления. Чистое олово не растворяется жидкостями консервов и практически безвредно для здоровья человека. Никакие другие покрытия не могут конкурировать с оловом по устойчивости.

Сейчас можно сказать, что олово отжило свой «бронзовый век» и стало металлом консервной банки!

## ***Йод – вездесущий***

Все мы хорошо знаем, что такое йод, пользуемся им, когда пораним себе палец, принимаем его буро-красные капли с молоком в старческие годы. Йод – всем хорошо известное лекарство, а между тем как мало и плохо знаем мы, что такое йод и какова его судьба в природе!

Трудно найти другой элемент, который был бы более полон загадок и противоречий, чем йод. Больше того, мы так мало о нем знаем и так плохо понимаем самые основные вехи в истории его странствований, что до сих пор является непонятным, почему мы лечимся йодом и откуда он взялся на Земле.

Надо сказать, что еще Д. И. Менделеев, наш великий химик, столкнулся с неприятными особенностями свойств йода. Менделеев распределил свои элементы в порядке повышения атомных весов, но йод с теллуром нарушили порядок: теллур стоит перед йодом, хотя атомный вес его

выше. Так это и осталось до нашего времени. Йод и теллур оказались почти единственными элементами, нарушившими стройность менделеевского закона. Правда, сейчас мы знаем, в чем тут дело, но много лет это оставалось непонятным исключением; и неоднократно критики блестящей теории Менделеева указывали, что он переставляет элементы так, как ему это удобно.

Йод – твердое тело; он образует серые кристаллики с настоящим металлическим блеском. Он похож на металл и просвечивает фиолетовым цветом, но вместе с тем, если мы поместим в стеклянный флакон металлические кристаллики йода, то очень скоро увидим в верхней части флакона фиолетовые пары: йод легко возгоняется, не переходя в жидкое состояние.

Вот вам первое противоречие, которое бросается в глаза, но за ним сейчас же следует второе. Цвет паров темно-фиолетовый, а самого йода – серо-металлический. Соли же йода вообще бесцветны и выглядят, как простая поваренная соль; лишь некоторые из них обладают слегка желтоватым оттенком.

А вот и другие загадки йода. Йод – исключительно редкий элемент: наши геохимики подсчитали, что содержание йода в земной коре всего лишь около одной или двух сотых процента; а между тем йод присутствует всюду. Пожалуй, мы можем сказать даже еще точнее: нет ничего в окружающем нас мире, где тончайшие методы анализа в конце концов не открыли бы несколько атомов йода.

Все пронизано йодом: твердая земля и горные породы, даже самые чистые кристаллы прозрачного горного хрусталя или исландского шпата содержат в себе довольно много атомов йода. Значительно больше его содержится в морской воде, очень много – в почвах, в проточных водах, еще больше в растениях, животных и в человеке. Мы поглощаем йод из воздуха, который весь насыщен его парами; мы вводим йод в свой организм с пищей и водой. Жить без йода мы не можем. И понятными являются вопросы: почему йод везде присутствует, откуда же берется такое большое количество йода, где его первоисточник, из каких глубин земных недр приносится нам этот редкий элемент.

Между тем даже самые точные анализы и наблюдения не могут открыть его таинственный источник, так как ни в глубинных изверженных породах, ни в расплавах излившихся магм мы не знаем ни одного минерала йода. Геохимики так рисуют картину происхождения йода на Земле: когда-то, еще до начала геологической истории Земли, когда наша планета впервые покрывалась твердой корой, летучие пары различных веществ сплошными облаками окутывали еще горячую Землю. Тогда йод вместе с хлором выделился из глубин расплавленных магм нашей планеты, тогда же он был захвачен первыми потоками осевших горячих паров воды, и первые океаны, породившие моря, накопили в себе йод из атмосферы Земли.

Так это или не так, мы сейчас точно не знаем, – мы знаем только то, что и на земной поверхности его распределение полно загадок. В арктических странах, на высоких горах йода меньше, в низинах, у морских берегов количество йода в породах увеличивается, еще больше его в пустынных образованиях, а в солях пустынь Южной Африки или Атакамы в Южной Америке мы встречаем настоящие минеральные соединения йода.

Йод растворен и в воздухе; точный анализ показал, что он распределен там по строго определенному закону: количество его меняется с высотой. В горах Памира и Алтая, на высоте свыше 4000 метров, йода во много раз меньше, чем на уровне Москвы или Казани.

И вместе с тем йод известен нам не только на Земле. Мы находим его в метеоритах, попадающих к нам из неведомых пространств мироздания. В атмосферах Солнца и звезд ученые давно уже ищут его с помощью новых методов, но пока безуспешно. В морской воде йода довольно много: на каждый литр приходится 2 мг, а это уже чувствительная величина. Морская вода сгущается у берегов, в лиманах, в прибрежных озерах, – там накапливаются соли и белой пеленой покрывают плоские берега. Эти скопления солей хорошо нами изучены на берегах Черного моря в Крыму, так же как и в озерах Средней Азии. Но йода в них нет, он куда-то исчезает. По-видимому, какая-то часть йода накапливается на дне в илах, но большая доля его испаряется, уходит в воздух, и лишь малая часть сохраняется в остаточных рассолах. Там же, где скапливаются соли калия и брома, йода почти не оказывается. Но иногда у берегов соленых озер и морей развивается растительность, образуются целые леса различных водорослей, которые покрывают прибрежные камни. В этих водорослях и накапливается йод в результате каких-то непонятных биохимических процессов; и на тонну водорослей приходится несколько килограммов чистого йода. А в некоторых морских губках количество йода еще больше и достигает 8–10 %.

Наши исследователи особенно хорошо изучили берега Тихого океана. На всем громадном пространстве прибрежного района волны прибывают, главным образом осенью, огромное количество водорослей морской капусты – свыше трехсот тысяч тонн в год. Эти бурые водоросли содержат много сотен тысяч килограммов йода. Их собирают, частично используют для пищи, частично осторожно сжигают, извлекая из них йод и поташ.

Но этим не заканчивается история йода в земной коре. Его приносят нам и нефтяные воды. Около Баку образуются целые озера отбросовых вод, из которых сейчас извлекают йод. Его выносят и некоторые вулканы из своих загадочных глубин.

Так разнообразны судьбы этого элемента в истории нашей Земли, что трудно нарисовать себе полную и связную картину жизни и скитаний этого бесконечно странствующего атома природы.

Но вот йод попадает в руки человека, и здесь возникает новая загадка: мы лечим йодом, останавливаем им кровь, убиваем бактерии, охраняем рану от заражения, а между тем йод исключительно ядовит: пары его вызывают раздражение слизистых оболочек. Избыток капель или кристалликов йода может быть смертельным для человека. Но самое удивительное заключается в том, что все же еще хуже для здоровья человека, когда йода мало. Организм человека, а вероятно и ряда животных, должен иметь определенное количество йода. Мы знаем, что недостаток йода в некоторых местностях проявляется в особой болезни, называемой зобом. Этой болезнью страдают обычно жители высокогорных местностей. Мы знаем некоторые аулы, расположенные в высоких горах на Центральном Кавказе и на Памире, в которых широко распространена эта болезнь. Очень хорошо она известна также и в Альпах.



Круговорот йода на Земле

В последнее время американские исследователи установили распространение зоба и на территории Америки. Оказалось, что если составить карту распространения заболеваний зобом и карту процентного содержания йода в воде, то данные карт совпадут друг с другом.

Человеческий организм исключительно чуток к йоду, и понижение его содержания в воздухе и в воде сейчас же отражается на здоровье. Зоб научились лечить, применяя соли йода.

Не менее интересны пути вовлечения йода в промышленность, которые с каждым годом становятся все шире, разнообразнее. С одной стороны, открыты соединения йода с органическими веществами, которые создают непроницаемую броню для прохождения рентгеновских лучей, и вместе с тем эти соединения, введенные в организм, позволяют фотографировать внутренние ткани с особой отчетливостью.

Мы узнали и совсем другие области применения йода, возникшие за последние годы. Особенное значение придается использованию йода в целлюлозной промышленности, где применяются особые соли йода в виде мелких игольчатых кристалликов. Эти игольчатые кристаллики распределяются в целлулоиде так, что колебания светового луча не могут проходить через них во всех направлениях. Получается то, что мы называем поляризованным лучом. Мы много лет строили особые, очень дорогие поляризационные микроскопы, а сейчас благодаря этому новому фильтру-поляроиду изобретены прекрасные лупы, которые заменяют собой микроскоп. С ними можно работать во время экспедиций в поле. Сочетанием двух-трех поляроидов можно добиться яркой окраски рисунка; и мне представляется чудесно освещенное декоративное панно или экран в кино, где вращением двух поляроидов будут достигаться замечательные красочные эффекты, быстро меняющие все цвета солнечного спектра. Когда поляроидная пластинка вставлена в окно автомобиля, вы можете ехать по освещенной улице, и вас не будет ослеплять свет ярких фар мчащейся навстречу машины, так как в поляроиде вы не увидите ярких ореолов горящих огней, а лишь самую машину с отдельной светящейся точкой.

Когда самолет поднимается над затемненным городом и сбрасывает вниз на парашюте сверкающие составы из магния, то поляроидные очки позволяют видеть все, что делается на земле под светящейся ракетой.

Вы видите, как разнообразно и широко применяется этот элемент, сколько неясных проблем, сколько противоречий в судьбе его странствований. Много еще нужно глубоких исследований, чтобы разгадать все его свойства и понять природу этого вездесущего элемента, пронизывающего весь окружающий нас мир. Интересна и история открытия этого элемента. Он был открыт в золе растений в 1811 году фармацевтом Куртуа, имевшим маленький завод, перерабатывавший золу растений в селитру. Открытие этого элемента не произвело особого впечатления на ученых и только через сто лет получило должную оценку.

Я мог бы на этом закончить свой рассказ об этом интересном элементе, но еще одна мысль занимает мое внимание. По таблице Менделеева ниже йода в той же группе приходится пустая клетка. Ее наметил еще Д. И. Менделеев и сказал, что здесь должен быть открыт новый элемент. Он назвал его экайодом. Мы эту клетку называем клеткой под номером 85. Где же встречается или где скрывается этот элемент номер 85? Он не может не существовать где-то в мире, он должен быть открыт.

Его долго искали в остаточных рассолах озер и в соляных месторождениях. Его искали в межпланетном пространстве, среди тех рассеянных атомов, которые наблюдаются в мироздании между звездами и солнцами, планетами и кометами; его искали и во всех природных металлах, но не нашли.

Много раз казалось ученым, что в приборах блеснула где-то та линия, которая отвечает светящимся атомам номера 85, но новые исследования не подтверждали этого открытия, и клетка номер 85 осталась и до наших дней пустой<sup>[44]</sup>.

Что же представляет собой этот таинственный неоткрытый атом? Вероятно, он продолжает загадочную историю йода, вероятно, он наделен еще более чудесными свойствами, и именно они затрудняют его открытие. Может быть, он существует в мироздании так недолго, что самые точные приборы не могут его поймать; может быть, он обладает настолько сильным зарядом, что не может существовать в нашем мире. Но если номер 85 будет открыт на Земле, то он окажется еще более замечательным элементом, с еще более сказочными свойствами, чем йод.

Над загадками йода и его товарища по таблице стоит поработать ученым!

## ***Фтор – всеядущий***

Обдумывая план этой книги, я наметил в ней главу о фторе и его замечательных свойствах; но когда я дошел до ее составления, то должен был остановиться. Я никогда не работал над фтором и его соединениями, не интересовался его прекрасными минералами, его использованием в промышленности и поэтому оказался в затруднении.

Пришлось прибегнуть к своим записям; и, разбирая старые многочисленные заметки об отдельных химических элементах Земли, я нашел ряд листков, из которых и составил эту главу.

Чарлз Дарвин в своей автобиографии указывает, как должен работать ученый.

Он говорит, что ученый не может и не должен все запоминать, что каждое интересное наблюдение и все, что он встретит любопытного в книгах, он должен записывать на отдельные листочки, а каждую книгу, которая касается занимающего его вопроса, откладывать на отдельную полку вместе с выписками.

Дарвин был против того, чтобы у ученого была большая разнообразная библиотека. Он намечал себе на ближайшие годы большие задачи и упорно стремился к их разрешению. К каждой проблеме он десятки раз подбирал материалы, и каждой проблеме была посвящена одна или две полки в его книжном шкафу.

Через несколько лет, а иногда и через десяток лет у него накапливался, таким образом, огромный фактический материал по каждой отдельной научной проблеме. Он просматривал еще раз этот материал и книги, приводил их в порядок и составлял соответствующую главу своего знаменитого трактата, послужившего началом современной биологической науки.

Этот порядок составления больших книг и монографий очень удобен, и сознаюсь, что еще много лет назад я начал подражать прекрасному примеру Дарвина и решил точно так же готовить для своих работ материалы и книги. Я расстался со своей большой библиотекой, передав ее Хибинской горной станции на Кольском полуострове, а у себя оставил только те книги, которые были связаны с задачами, стоявшими передо мною на ближайшие годы.

Среди этих задач была большая проблема – описать историю всех химических элементов в земле, показать геологам, минералогам, химикам те сложные пути, которые проходит атом какого-либо металла в своих странствованиях в мироздании, рассказать о его свойствах и поведении на земле и в руках человека.

И вот, когда мне пришлось писать главу о фторе, я нашел в папке с надписью «Фтор» пять листочков. Приведу вам их здесь примерно в том виде, как они были написаны.

## Листок 1

Давно мечтал я посетить знаменитые месторождения Забайкалья, откуда посылали мне замечательные кристаллы топаза, редкого прекрасного минерала, содержащего фтор, кристаллы всех цветов и друзы разноцветного плавикового шпата, которые добывались для нужд промышленности.

И вот наконец мы высадились из скорого поезда, шедшего на станцию Маньчжурия.

У вокзала нас ждала тройка лошадей, и мы покатали по дивным степям южного Забайкалья, покрытым сплошным белым ковром прекрасных цветов. Чарующая картина все шире и шире раскрывалась перед нами по мере того, как мы поднимались на пологие вершины горы. Здесь на отдельных выходах гранитов добывались кристаллы синего, желтоватого и голубого топаза; здесь в пустотах – «занорышах» – гранитных пегматитов мы увидели красивые октаэдры плавикового шпата – соединения фтора и металла кальция. Но особенно поразила нас картина богатых месторождений этого минерала в одной небольшой долине.

Здесь были уже не отдельные кристаллики, осевшие из горячих водных растворов охлажденных гранитов, а огромные скопления розового,

фиолетового и белого плавикового шпата самых разнообразных оттенков: они сверкали и искрились на ярком маньчжурском солнце.

В горных разработках добывали этот ценный камень, чтобы отправить его через всю Сибирь на металлургические заводы Урала, Москвы и Ленинграда. И перед моими глазами возникла грандиозная картина газовых эманацій древних и глубоких гранитных расплавов. Из летучих соединений фтора образовались скопления плавикового шпата. В этих образованиях отразился один из этапов процесса медленного охлаждения в земных глубинах гранитного массива, окруженного выделяющимися из него парами и газами.

Мне вспомнилась здесь и другая картина из истории этого же самого плавикового шпата. Я вспомнил описания в старых минералогиях плавикового шпата чарующих по красоте тонов, из которого выделявали ценные муринские вазы<sup>[45]</sup>.

Я вспомнил также, что в Англии существовала целая промышленность по обработке этого камня и что в музеях мы можем видеть красивые изделия из него.

Наконец, я вспомнил и совсем другие картины из окрестностей Москвы.

Еще молодым преподавателем минералогии в 1-м народном университете города Москвы я поставил перед своими слушателями задачу – общими силами определить минералы, окружающие наш город. Среди этих минералов был замечательный фиолетовый камень. Его нашли около ста пятидесяти лет тому назад (в 1810 году) в маленьком Ратовском овраге, Верейского уезда, Московской губернии и называли ратовкитом.

Он залегал среди известняков отдельными скоплениями в виде красивых фиолетовых пропластков. Целые полосы его темно-фиолетовых кубиков были встречены по берегам притоков Волги – Осуги и Вазузи. Мы энергично взялись за изучение этого фиолетового камня, который оказался чистым фтористым кальцием – тем флюоритом, о котором я здесь рассказываю. Его красивые фиолетовые гальки встречались в таком большом количестве, а сами прослойки залегали среди известняков так правильно, что трудно было приписать их образование горячим эманациям гранитных расплавов, которые положили начало прекрасным топазам Забайкалья и месторождениям плавикового шпата Маньчжурии.

Более 2000 м отделяли эти осадки от древних гранитов, лежащих в основе московских пород, и нам надо было искать каких-то других химических деятелей, которые накопили этот красивый камень по притокам Волги. При содействии академика А. П. Карпинского наша молодежь разгадала происхождение этого камня. Оказалось, что ратовкит связан с древними осадками московских морей, что при его скоплении сыграли роль живые существа – те морские раковины, особенно известковые раковинки, которые накапливали в своих клетках

кристаллики фтористого кальция. Нарисованные здесь картины прошлого ясно показывают, как своеобразны и сложны пути миграции фтора в природе.

## Листок 2

Краткое описание одного дня, проведенного в столице Дании – Копенгагене во время командировки на геологический конгресс.

По окончании конгресса мы посетили знаменитую криолитовую фабрику в окрестностях этого города. Белоснежный камень, неотличимый по внешнему виду от льда, доставляли сюда с вершин, расположенных на ледяных берегах Гренландии. По какому-то странному природному совпадению этот камень встречается на земле только в одном месте – в полярных областях западного побережья Гренландии<sup>[46]</sup>. Здесь он добывается в громадных разработках, грузится на суда и отправляется в Копенгаген. Криолит переправляют на особые фабрики, где от него отделяют другие минералы, особенно руды свинца, цинка и железа, – остается чистый, похожий на снег порошок, используемый как плавень для получения алюминия.

В особых ящиках, как большая ценность, этот порошок поступает на химические заводы, где его ждет новая судьба: вместе с рудой алюминия его расплавляют в электрических печах; и сверкающий серебром поток расплавленного металла стекает в большие, заранее подготовленные чаны. Этот металл – алюминий, и все современное производство алюминия не может обойтись без криолита.

Пока нет других способов получить этот металл – металл, необходимый и для мирной промышленности и для военной, мировая добыча которого сейчас равна почти двум миллионам тонн в год.

Энергию больших рек и водопадов используют для того, чтобы при помощи криолита растворить окись алюминия и получить чистый металлический алюминий. Правда, здесь на смену природному криолиту приходит искусственная соль фтористого алюминия и натрия. Но это тот же криолит, лишь получаемый человеком на химических заводах.

## Листок 3

В Таджикистане на отвесной круче замечательно красивого озера Кули-Колон были найдены обломки чистого, прозрачного плавикового шпата. Он был так прозрачен, что из него можно готовить линзы для микроскопов и точных приборов. Спрос на прозрачный плавиковый шпат был настолько большим, что пришлось направить специальную экспедицию на крутые обрывы этого озера<sup>[47]</sup>. С захватывающим интересом читали мы в отчетах экспедиции о необычайных трудностях добычи прозрачного белого плавикового шпата, залегающего в плотных известняках.

После долгих трудов проложены были тропки к нависшему над озером месторождению. Но еще гораздо труднее было доставить отдельные ценные куски минералов вниз к кишлаку, расположенному на берегах этого озера. Громадные штуфы этого редкого камня, передавая их по цепи из рук в руки, горные таджики спускали вниз, перекадывали мягкой травой, а затем во вьючных ящиках доставляли в город Самарканд<sup>[48]</sup>. Промышленность оптических приборов получила исключительный по чистоте плавиновый шпат и смогла приготовить из этого минерала тонкие и чистые линзы и создать лучшие оптические приборы во всем мире.

## Листок 4

Во время лечения на одном чехословацком курорте мы получили предложение совершить экскурсию на расположенный около города стекольный завод, механизированный по последнему слову техники. Мы осмотрели цехи производства больших зеркальных стекол. Их размеры были огромны. Сплошной лентой выплавлялись грандиозные пластины оконного стекла. В отдельных цехах получались высшие сорта хрусталя, окрашенного в разные тона солями редких земель и урана. Но самым интересным оказался цех художественного рисунка. Ваза из чистейшего хрусталя покрывалась тонким слоем парафина, опытный художник-гравер инструментом вырисовывал на слое парафина сложный рисунок. Скальпелем он снимал слой в одном месте, прорезал тонкие линии в другом, и перед нами появлялась картина леса и охоты на оленя.

Затем этот образец размножался. При помощи особого аппарата обводились контуры рисунка, и в большой комнате этот же рисунок повторялся на десятках других ваз, покрытых парафином. На всех них постепенно появлялись все те же контуры леса и затравленного собаками оленя. Потом все вазы помещались в особые печи, обложенные свинцом, в которые пропускались пары ядовитых соединений фтора. Кислота, содержащая фтор, разъедала стекло в тех местах, где не было парафина, проникая то глубже, то лишь слегка, так что поверхность становилась матовой. Потом парафин расплавлялся в горячем спирте, иногда в воде или просто путем нагрева; и перед нами появлялся во всей красоте нежный рисунок, вытравленный парами фтора. Оставалось лишь местами подчистить, местами углубить этот рисунок при помощи быстро вращающихся специальных резцов, и работа была закончена.

## Листок 5

Наконец, среди своих листков и воспоминаний о фторе и его минералах я нашел следующую выписку из университетского курса химии.

«Фтор – газообразный элемент с неприятным, одуряющим запахом, исключительно активный в химическом отношении. Он соединяется со

взрывом или ярким накаливанием почти со всеми элементами, даже с золотом. Недаром его получение представляло громадные трудности. Получен он был в чистом виде в 1886 году, хотя еще до этого фтор был открыт Шееле в 1771 году».

В природе он известен главным образом в виде солей фтористоводородной кислоты, в виде фтористого кальция, минерала красивой окраски – флюорита, называемого «плавиковым шпатом» за свою способность сообщать легкоплавкость рудам металлов.

Однако фтор широко распространен в природе и в других соединениях, например, в апатит он входит в количестве до 3 %.

В своей геохимической истории он связан с летучими возгонами из расплавов гранитных магм, однако встречается сравнительно редко и в виде морских осадков, дающих известное накопление фтористых соединений из органического вещества.

Плавиковый шпат в кусках употребляется для оптических стекол, пропускающих, в противоположность простому стеклу, и ультрафиолетовые лучи; красиво окрашенные разновидности плавикового шпата употребляются как декоративный камень.

Однако главное применение фтора основывается на его способности облегчать плавление металлов. Он идет также для получения фтористой, или, как говорят, плавиковой, кислоты, которая обладает исключительно сильной растворяющей способностью и разъедает стекло и даже горный хрусталь.

В виде двойной соли натрия и алюминия фтористая кислота образует минерал криолит, нужный для электролиза металлического алюминия. Фтор играет огромную роль в жизни растений и живых организмов, является необходимым веществом для жизни, но избыток его действует очень вредно и вызывает ряд болезней.

Очень велика роль фтора в жизни моря, где он накапливается частью биологическими процессами (раковины, кости, зубы), частью в виде сложных карбонатов и особенно фосфатов (фосфоритов). В морской воде содержится фтора 1 мг на литр. В раковинах же устриц фтора в двадцать раз больше, чем в морской воде.

В последнее время ученые, анализируя свойства соединений фтора на основе таблицы Менделеева, открыли новое замечательное применение фтора, а именно: научились получать особое вещество – четырехфтористый углерод, который не ядовит, не взрывается в смеси с воздухом, очень устойчив и обладает способностью переходить из твердого состояния в газообразное с большим поглощением тепла. Это свойство и дало возможность применить четырехфтористый углерод в специальных холодильниках. Громадные холодильные установки для сохранения различных продуктов удалось создать только благодаря применению четырехфтористого углерода.

## Заключение

Я рассказал вам содержание пяти листочков, найденных в моей папке. Они как будто бы почти полностью исчерпывают собой главу о замечательном элементе природы, но будущее его гораздо шире и грандиознее. Самые сложные газообразные продукты будущего связаны с фтором. Нет более опасных ядов, чем сочетания этого элемента, и вместе с тем нет более прекрасных консервирующих средств, которые позволили бы сохранять продукты питания без больших затрат в маленьких шкафчиках, поддерживая низкую температуру, вплоть до 100° ниже нуля.

Фтор – еще очень мало изученный химический элемент природы. Он таит в себе грандиозные возможности, вытекающие из своеобразных свойств его сложных соединений, и трудно нам сейчас предугадать, как широко его будут применять в народном хозяйстве и какова его судьба в технике будущего.

## **Алюминий – металл XX века**

Алюминий – один из интереснейших химических элементов. Интересен он не только тем, что неожиданно быстро и победоносно, в течение нескольких десятков лет, вошел в нашу жизнь, в быт, в технику, в важнейшие отрасли народного хозяйства, не только тем, что это тот легкий металл, который вместе с магнием создал крылатую мощь самолета.

Большой интерес представляют его свойства и прежде всего геохимическая роль. Дело в том, что алюминий, с которым культурное человечество познакомилось так недавно, является одним из важнейших, самых распространенных химических элементов.

Мы с вами отлично знаем, что под покровом глин, песков, образовавшихся в разное время в результате выветривания и разрушения массивных горных пород, находится сплошная, облегающая весь земной шар, каменная оболочка Земли, или земная кора.

Мощность этой каменной оболочки, ее толщина не менее сотни километров, а может быть, как сейчас начинают предполагать, и значительно больше. Эта оболочка на глубине постепенно переходит в другую – рудную, содержащую железо и другие металлы, и, наконец, в центре Земли находится, по-видимому, железное ядро.

Каменная оболочка образует на поверхности Земли огромные выступы – материковые массы, или континенты. На них, в свою очередь, образовались складки в виде длинных цепей гор.

Каменная оболочка Земли, составляющая основание континентов и их горных цепей, слагается из алюмосиликатов и силикатов.

Алюмосиликаты состоят, как это видно по их названию, из кремния,

алюминия и кислорода. Вот почему каменную оболочку часто называют «сиаль» – SiAl, – по сочетанию первых слогов латинских названий кремния – Silicium – и алюминия – Aluminium.

Эта оболочка, в состав которой главным образом входит гранит, по весу состоит примерно из 50 % кислорода, 25 % кремния и 10 % алюминия. Таким образом, алюминий по распространению занимает на Земле третье место среди химических элементов и первое место среди металлов. Его на Земле больше, чем железа.

Алюминий, кремний и кислород вместе являются самыми главными элементами, из которых построена земная кора, и в каменной оболочке Земли они образуют разнообразные минералы. Эти минералы являются такого рода соединениями атомов, у которых в центре находится либо атом кремния, либо атом алюминия, а вокруг них правильно в четырех углах, образуя фигуру тетраэдра, располагаются атомы кислорода.

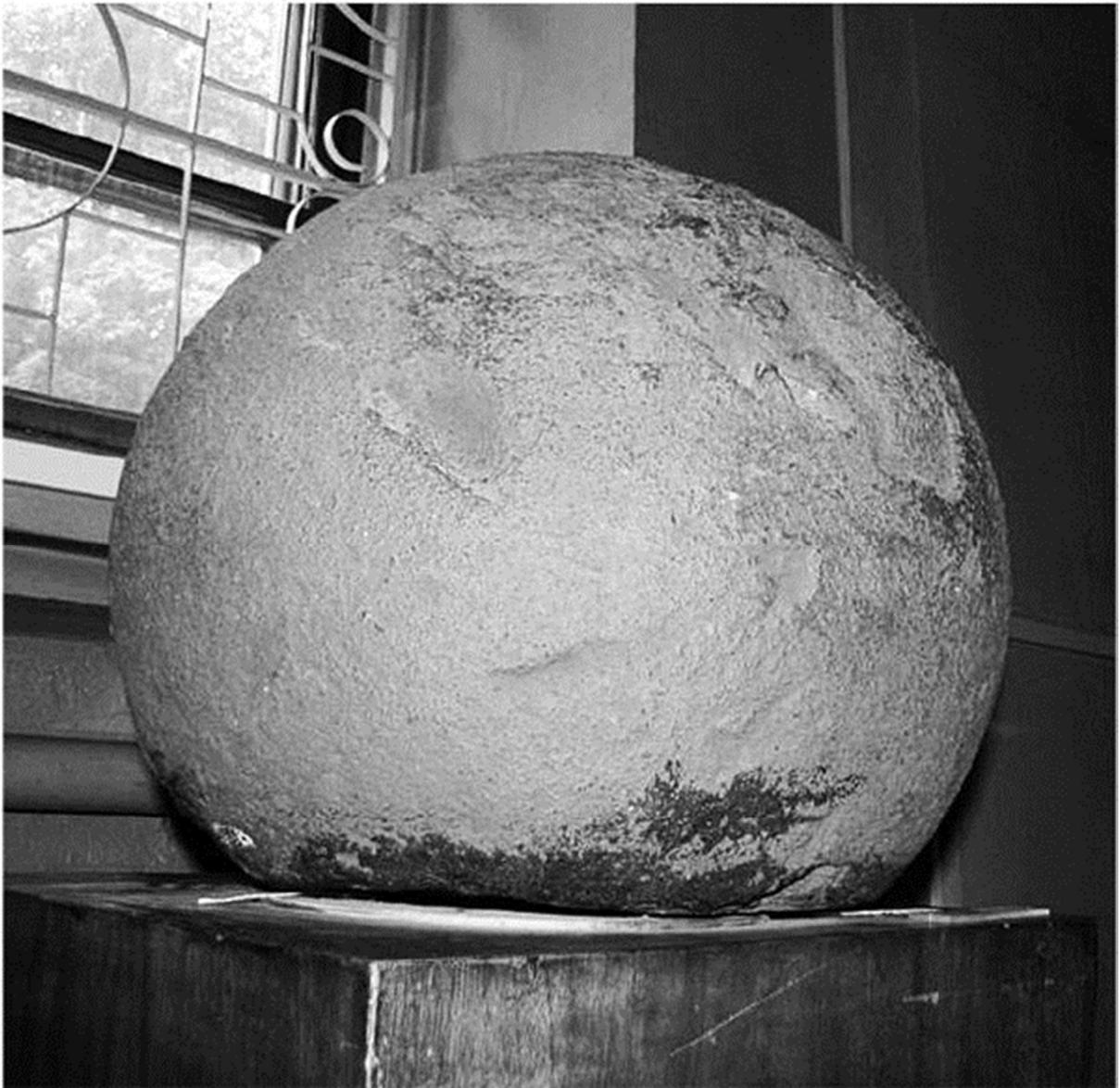
Таким образом, наряду с кремнекислородными возникают алюмокислородные тетраэдры. При этом роль алюминия бывает двойной: либо он, подобно другим металлам, располагается между кремнекислородными тетраэдрами, связывая их друг с другом, либо он становится в некоторых тетраэдрах на место кремния.

Вот из этих-то тетраэдров кремния и алюминия путем сочетания их между собой и образуется множество важнейших минералов земной коры, объединенных под общим названием алюмосиликатов. С первого взгляда сложный рисунок расположения атомов алюминия, кремния и кислорода напоминает нам тонкие кружева или узоры ковров. Эта картина могла быть установлена лишь при помощи рентгеновских лучей, которые как бы сфотографировали внутреннее строение минералов.

Вспомним, какими серыми и однообразными казались нам камни в далеком детстве и какая сложная и разнообразная картина рисуется нам, когда мы проникаем в глубь их структуры.

Распространенность некоторых алюмосиликатов колоссальна. Достаточно сказать, что более половины земной коры сложено минералами, носящими название полевых шпатов. Они входят в состав гранитов, гнейсов и других каменных пород, охватывающих землю как бы сплошным каменным панцирем и выступающих в виде могучих горных цепей.

В результате выветривания полевых шпатов на земной поверхности в ходе тысячелетий откладываются грандиозные скопления глин, состоящих на 15–20 % из алюминия. Алюминий, открытый в составе этих повсеместно распространенных пород, даже был назван глинием. Правда, это название к нему не пришло и перешло в несколько измененном виде к его окиси – глинозему.



Образец боксита шаровой формы

Но, к счастью, алюминий встречается в природе не только в таком сложном составе, откуда извлечь его довольно трудно. Значительное количество алюминия мы находим именно в виде глинозема – природного соединения с кислородом. Это соединение встречается в очень разнообразных формах.

Безводную окись алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) мы встречаем в виде минерала корунда, отличающегося замечательной твердостью, а иногда и необычайной красотой. Прозрачные разновидности глинозема, где к алюминию и кислороду примешиваются лишь крошечные количества элементов-красителей – хрома, железа, титана, принадлежат к числу первоклассных красавцев-самоцветов. Какое разнообразие цветов и богатство красок создает в одном и том же глиноземе ничтожная примесь того или иного вещества! Это сверкающий яркими тонами

красный рубин и синий сапфир, пленявшие человека с незапамятных времен. Сколько сказок связано с этими камнями! Издавна служат человеку и менее чистые, непрозрачные, окрашенные в бурые, серые, синеватые, красноватые цвета кристаллы корунда, по своей твердости уступающие лишь алмазу.

С их помощью мы обрабатываем разные твердые материалы, в том числе блестящую сталь инструментов, оружия, станков, машин.

Мелкие кристаллики того же корунда в смеси с магнетитом и другими минералами – так называемый наждак – хорошо известны каждому; вы, вероятно, не раз чистили наждаком свой перочинный ножик!

Корунд мог бы, конечно, служить легким источником получения металлического алюминия, но он слишком ценен сам по себе и его мало в природе.

С незапамятных времен, еще на заре человеческой культуры, с каменного века и до наших дней человек широко использовал граниты, базальты, порфиры, глины и другие породы из алюмосиликатов, строя из них целые города, создавая здания, произведения искусства, утварь, получая керамику, фаянс, фарфор.

Но в течение тысячелетий человек и не подозревал благородных и чудесных свойств алюминия – металла, который был скрыт в этих породах.

Алюминий никогда и нигде в природе не встречается в металлическом виде, он всегда находится в различных соединениях, совершенно отличных по свойствам и виду от металла алюминия.

И нужен был гений человека, его упорный труд, чтобы извлечь и вызвать к жизни этот чудесный металл.

Впервые удалось выделить небольшое количество блестящего серебристого металла около 125 лет назад. И никто тогда не думал, что он вообще будет играть какую-то роль в жизни человека, тем более что получение его было очень трудным. Но вот в начале прошлого века ряду ученых удалось путем электролиза выделить алюминий на катоде под коркой шлаков из расплавленных при высоких температурах соединений алюминия. Это был чистый серебристый металл – «серебро из глины», как говорили в то время.

Этот метод получения алюминия перешел на заводы, и металл быстро стал завоевывать себе широкое применение. Он имеет цвет, напоминающий серебро. А свойства его действительно оказались удивительными.

В настоящее время чистую окись алюминия добывают не из глины. В качестве удобной руды алюминия природа дает нам водную окись алюминия (гидрат глинозема) в виде минералов диаспора и гидраргиллита. Смешанные часто с окислами железа и кремнеземом, эти

минералы образуют залежи глино- или камнеподобных пород – бокситов – преимущественно среди прибрежных осадочных отложений.

Боксит содержит очень большое количество окиси алюминия (50–70 %) и является основной промышленной рудой алюминия. Советскими химиками разработан и освоен новый процесс переработки хибинского минерала – нефелина ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) на окись алюминия. В последнее время пытаются также использовать дистеновые сланцы<sup>[49]</sup>, содержащие 50–60 % окиси алюминия, и другие минералы: лейцит, алунит. Но ни один из этих минералов, кроме нефелина, еще не может заменить боксит.

Производство металлического алюминия основано на двух самостоятельных процессах. Прежде всего из боксита после довольно сложной обработки извлекается чистая безводная окись алюминия – глинозем. Затем окись алюминия подвергается электролизу в специальных ваннах, выложенных графитовыми плитами.

Порошок глинозема загружается в эти ванны в смеси с порошком криолита. При включении мощного электрического тока развивается высокая температура (около  $1000^\circ$ ); криолит плавится и растворяет в себе глинозем, который в дальнейшем разлагается током на алюминий и кислород. Дно ванны служит при этом катодом (отрицательным полюсом), и на нем собирается расплавленный алюминий. Через особый кран его выпускают и разливают по формам, где он и застывает в виде блестящих серебристых брусков.

Сто лет тому назад получение этого легкого белого металла было очень трудной задачей, и фунт алюминия стоил сорок рублей золотом. А теперь могучая энергия рек, преобразованная в электрическую энергию, позволяет получать его в громадных количествах.

Кое-какие из свойств алюминия хорошо известны всем. Это очень легкий металл, почти в три раза легче железа. Он очень тягуч и при этом достаточно прочен: его можно вытягивать в проволоку, плющить в тончайшие листы. Не менее замечательны и его химические свойства. С одной стороны, он как будто не боится окисления; это мы знаем по поведению алюминиевой посуды, кастрюлек, сковородок, бидонов. А между тем сродство его с кислородом очень велико. Это кажущееся противоречие отметил еще наш великий химик Д. И. Менделеев. Дело в том, что серебряно-блестящий после выплавки алюминий на воздухе покрывается тусклой пленочкой окиси, которая предохраняет его от дальнейшего окисления. Не всякому металлу дана такая способность самозащиты. Окись железа, например, хорошо всем известная ржавчина, нисколько не мешает дальнейшему разрушению металла: она слишком рыхла и легко проницаема для воздуха и воды. Напротив, тоненькая пленочка окиси, одевающей алюминий, очень плотна, эластична и служит ему надежным покровом.

При нагревании алюминий жадно соединяется с кислородом, превращаясь в окись алюминия, и выделяет при этом огромное количество тепла. Это свойство алюминия выделять тепло при сгорании было использовано в технике для выплавки других металлов из их окисей путем смешения с порошком металлического алюминия. В этом процессе алюминотермии металлический алюминий отбирает кислород от окисей других металлов и восстанавливает их.

Если вы смешаете, например, порошок окиси железа с порошком алюминия и подожжете эту смесь лентой магнезия, на ваших глазах разовьется бурная реакция с выделением огромного количества тепла, и температура поднимется до 3000°. Вытесненное алюминием железо при этой температуре плавится, а образовавшаяся окись алюминия всплывает на его поверхность в виде шлака. Человек использовал эту активность алюминия для получения некоторых тугоплавких и технически ценных металлов.

Таким путем выплавляют металлический титан, ванадий, хром, марганец и другие металлы. Так как при алюминотермии развивается высокая температура, то смесь окиси железа с алюминием – так называемый термит – применяют для сварки стали. Каждый из вас видел, вероятно, как это делается, например, при сварке трамвайных рельсов. Расплавляемое при горении термита железо стекает на соединенные концы рельсов и сваривает их.

Вряд ли можно назвать много элементов, которые сделали бы столь быструю и блестящую карьеру, как алюминий!

Алюминий стал стремительно проникать в автомобильную, машиностроительную и другие области промышленности, во многих случаях заменяя сталь и железо. В военном судостроении его использование произвело переворот, позволив создать, например, «карманные линкоры» (суда размером с легкий крейсер и мощностью дредноута).

Человек научился получать это «серебро» из природных минералов в огромных масштабах. И «серебро из глины» позволило человеку окончательно покорить воздушную стихию.

Алюминий или его легкие сплавы как нельзя лучше подходят для постройки жестких аэростатов, фюзеляжей, крыльев или цельнометаллических самолетов.

Эта новая промышленность, которая так широко использовала алюминий, выросла с чудесной быстротой на наших глазах.

Когда мы видим летающий над нами самолет, вспомним, что 69 % его веса без мотора приходится на алюминий и его сплавы и что даже в авиационном моторе вес алюминия и магнезия – двух легчайших металлов – достигает 25 %.

Одновременно с грандиозным потреблением в тяжелой промышленности, с постройкой цельноалюминиевых поездов, с затратой алюминия на машиностроение и особенно на авиационную промышленность, сотни тысяч тонн алюминия расходуются на алюминиевые провода и детали для электрической промышленности.

Но и этим не исчерпывается применение этого металла.

Добавим еще отражательные зеркала прожекторов, ответственные части снарядов и пулеметных лент, осветительные ракеты, алюминиевый порошок в смеси с окисью железа – в зажигательных бомбах. Вспомним о колоссальном значении искусственного кристаллического глинозема (электрокорунда, алундума), получаемого в настоящее время из тех же бокситов и применяемого в так называемом абразивном деле, главным образом в обработке металлов.

Кристаллизуя чистую окись алюминия с добавкой красителей, мы получаем чудесные рубины и сапфиры, не уступающие природным ни по твердости, ни по красоте. Мы применяем их главным образом как не поддающиеся истиранию опорные камни в ответственных частях точных приборов: часовых механизмов, весов, электросчетчиков, гальванометров и тому подобном.

Тонким порошком алюминия мы покрываем железо, получая своего рода алюминиевую жечь, не поддающуюся ржавчине. Этот же порошок служит для приготовления красивой литографской краски. А с недавнего времени его оценили и мастера знаменитого народного искусства – хохломской росписи по дереву. Алюминиевая пудра при помощи мягкой «куколки» наносится на пропитанную маслом поверхность предмета. Таким образом создается прелестный серебряный фон, по которому мастер выводит затем сложный цветистый узор росписи.

Почему мы называем алюминий металлом XX века?

Потому что его применение благодаря его замечательным свойствам растет и растет с каждым годом, а огромные запасы алюминия неисчерпаемы, и есть все основания считать, что алюминий сейчас входит в обиход человечества так же, как вошло в свое время железо.

Пройдут столетия, и наше время, возможно, будут называть алюминиевым веком!

## ***Бериллий – металл будущего***

Историки рассказывают, что римский император Нерон любил смотреть в цирке на борьбу гладиаторов через большой кристалл зеленого изумруда.

Когда горел подожженный по его приказанию Рим, он восторгался бушующим огнем, смотря на него через изумрудное стекло, в котором

красные краски огня, сливаясь с зеленым цветом камня, казались черными, зловещими языками.

Когда художники Древней Греции и Рима, не знавшие еще алмазов, хотели выгравировать на камне чье-либо лицо, чтобы увековечить его и выразить свое преклонение перед ним, они брали для этой цели чистый изумруд из Нубийской пустыни в Африке.

В Индии наравне с изумрудом издавна ценили золотисто-желтые хризобериллы, которые находили в песках острова Цейлон в Индийском океане, зеленовато-желтые, змеино-голубовато-зеленые, цвета морской воды, аквамарины. Позднее узнали редчайший минерал эвклаз, нежной «синей воды», как говорят ювелиры, а также огненно-красный фенакит, в несколько минут выцветающий на солнце.

Все эти камни давно привлекали к себе внимание красотой игры, замечательным блеском и чистотой окраски; и хотя очень многие химики стремились разгадать их химическую природу, но их попытки не имели успеха, и они ошибочно считали эти камни соединением простого глинозема.

За два тысячелетия до нашего времени в прихотливых изгибах подземных ходов, среди безводной пустыни Нубии, добывали бериллы и изумруды в знаменитых копях царицы Клеопатры.

Добытые из глубин земли зеленые камни доставлялись верблюжьими караванами к берегам Красного моря, а оттуда попадали в чертоги индийских раджей, дворцы шахов Ирана и властителей Оттоманской империи.

После открытия Америки, в XVI веке, замечательные по красоте и величине темно-зеленые изумруды привезены были в Европу из Южной Америки.

После трудной борьбы с индейцами испанцы завладели здесь сказочными богатствами изумрудов, добытых в Перу и Колумбии и принесенных к алтарю богини, священным изображением которой служил кристалл изумруда величиной со страусовое яйцо.

Они ограбили капища местного населения. Но месторождения драгоценных камней в труднодоступных горах Колумбии еще долго оставались тайной для пришельцев, и только после долгой борьбы добрались испанцы до самых копей и завладели ими. К концу XVIII века все эти месторождения беднеют и истощаются.

В это же время в песках солнечной Бразилии стали добывать аквамарины чарующих цветов. Недаром этот камень получил название аквамарина, то есть «цвета морской воды», ибо его цвета столь же изменчивы, как цвета южного моря во всем великолепии и разнообразии его красок, хорошо знакомых всем, кто жил на берегах Черного моря или видел замечательные картины художника Айвазовского.

В 1831 году уральский крестьянин Максим Кожевников, собирая валежник в лесу, нашел в земле под вывороченными корнями дерева первый изумруд в России.

Больше ста лет разрабатывались изумрудные копи. Целые вагоны светлоокрашенного берилла извлекались из земли, но только ярко-зеленые шли в огранку, а все остальное выбрасывалось.

...Такова история зеленых драгоценных камней, о которых под именем «бериллоса» писали за несколько столетий до нашей эры. Так рисуется сейчас перед нами начало истории металла будущего, названного бериллием.



Кристаллы берилла

Но до 1798 года никто не догадывался, что в этих красивых ярких камнях содержится еще не известный ценный металл.

На торжественном заседании Французской академии 26 плювиоза VI года революционного календаря (то есть 15 февраля 1798 года) французский химик Вокелэн сделал потрясающее сообщение о том, что в ряде минералов то, что считалось глиноземом, или алюминиевой землей, в действительности оказывается совершенно новым веществом,

для которого он предложил название «глициний», от греческого слова «сладость», так как соли его казались химику сладкими на вкус.

Скоро это сообщение было подтверждено многочисленными анализами других химиков, но оказалось, что в минералах этого нового металла содержится немного, обычно всего лишь 4–5 %. Когда химики стали детально изучать распространение бериллия, то выяснилось, что в общем это очень редкий металл. В земной коре его не больше чем четыре десятитысячных процента (0,0004 %), но тем не менее бериллия в земле вдвое больше, чем свинца или кобальта, и в двадцать тысяч раз меньше, чем его собрата – металла алюминия, с которым его все время путали. Но вот наши химики и металлурги взялись за этот металл, и за последние десятки лет перед нами раскрылась совершенно новая картина; недаром сейчас мы можем назвать бериллий величайшим металлом будущего.

Действительно, оказывается, что этот серебристый металл в два раза легче, чем хорошо нам известный легкий алюминий. Он всего лишь в 1,85 раза тяжелее воды, тогда как железо тяжелее в 8 раз, а платина больше чем в 20 раз. Он дает прекрасные сплавы с медью и магнием, тоже очень легкие.

Правда, широкое использование бериллия держится в секрете и составляет военную тайну ряда государств, но всем сейчас уже хорошо известно, что сплавы этого металла все шире и шире внедряются в авиацию всех стран, что для получения хороших свечей в автомобилях к фарфоровой массе прибавляется порошок минерала берилла, что тонкие металлические пластинки из бериллия легко пропускают рентгеновские лучи, а сплавы его поражают своей легкостью и прочностью. Особенно замечательны пружины из бериллиевой бронзы.

Действительно, бериллий – один из самых замечательных элементов огромного теоретического и практического значения.

И мы можем и должны идти вперед по пути освоения этого металла.

Мы научились уже искать его, мы знаем, что он встречается в районах гранитных массивов, накапливается в последних дыханиях его расплавов, собирается вместе с другими летучими газами и редкими металлами в последних выжимках остатков застывающих в глубинах гранитов.

В этих рудных жилах, которые мы называем гранитными пегматитами, мы встречаем бериллий в виде прекрасных сверкающих самоцветов.

Мы встречаем его вместе и с другими рудами; мы знаем, где его искать, так как разгадали поведение этого легкого металла, весь его характер и свойства. С каждым годом все больше и больше расширяются поиски его месторождений.

Но пути бериллия в земной коре подсказывают нам и его применение в промышленности. Технологи изучают методы его извлечения из руд, а

металлурги – его применение в сверхлегких сплавах для постройки самолетов.

Овладение воздухом, смелые полеты самолетов и стратостатов невозможны без легких металлов; и мы уже предвидим, что в помощь современным металлам авиации – алюминию и магнию – придет и бериллий.

И тогда наши самолеты будут летать со скоростью в тысячи километров в час.

За бериллием будущее!

Геохимики, ищите новые месторождения!

Химики, научитесь отделять этот легкий металл от его спутника – алюминия!

Технологи, сделайте легчайшие сплавы, не тонущие в воде, твердые, как сталь, упругие, как резина, прочные, как платина, и вечные, как самоцветы...

Может быть, сейчас эти слова кажутся сказкой. Но как много сказок на наших глазах превратилось в быль, влилось в наш простой домашний обиход, а мы забываем, что еще не так давно наши радио и звуковое кино звучали фантастической сказкой...

## ***Ванадий – основа автомобиля***

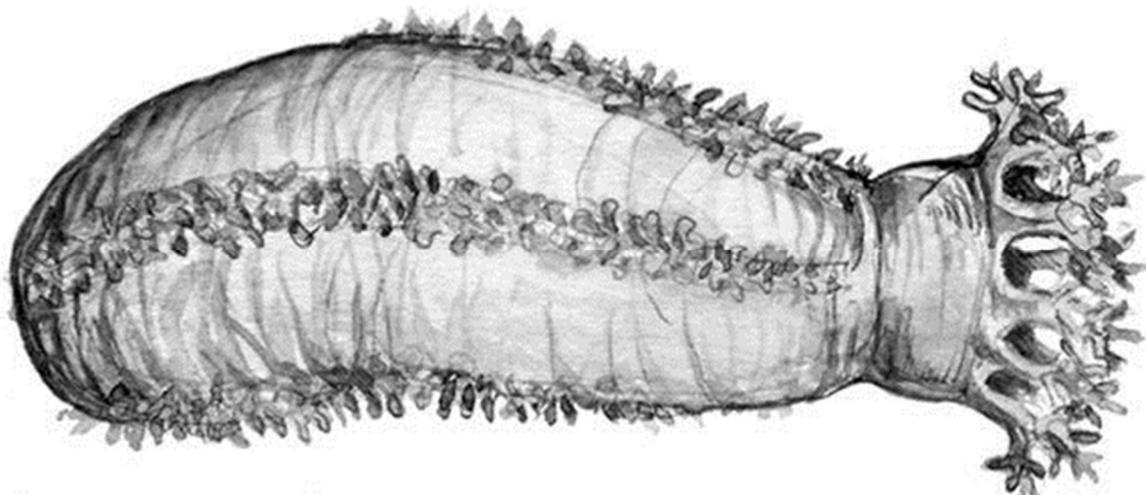
«Если бы не было ванадия, – не было бы автомобиля», – сказал Форд, начавший свою карьеру именно с удачного применения ванадиевой стали для осей машин. «Если бы не было ванадия, – не было бы некоторых групп животных», – сказал Я. В. Самойлов, известный московский минералог, когда в крови некоторых голотурий было открыто до 10 % этого металла.

«Если бы не было ванадия, – не было бы в земле нефти», – думают некоторые геохимики, приписывая ванадию особое влияние на образование нефти.

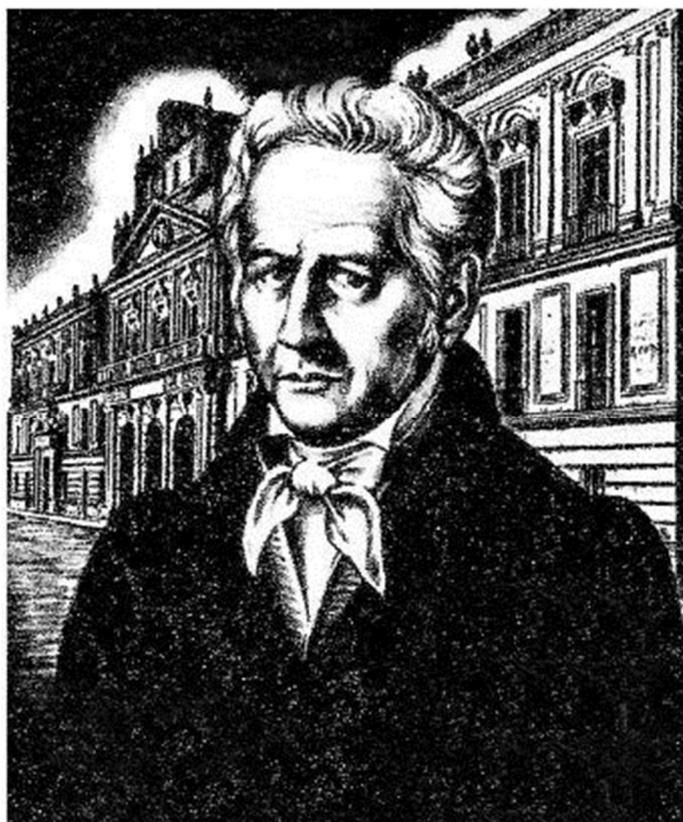
И вот этот замечательный металл долгое время был неизвестен человеку, и много десятков лет шли споры и борьба за его получение.

«В давние-давние времена на далеком севере жила Ванадис, прекрасная и любимая всеми богиня. Однажды кто-то постучался в ее дверь. Богиня удобно сидела в кресле и подумала: „Пусть он постучит еще раз“. Но стук прекратился, и кто-то отошел от дверей. Богиня заинтересовалась: кто же этот скромный и неуверенный посетитель? Она открыла окно и посмотрела на улицу. Это был некто Вёлер, который поспешно уходил от ее дворца.

Через несколько дней вновь услышала она, что кто-то стучится к ней, но на этот раз стук настойчиво продолжался до тех пор, пока она не встала и не открыла дверь. Перед ней стоял молодой красавец Нильс Сёвстрем. Очень скоро они полюбили друг друга, и у них появился сын, получивший имя Ванадия. Это и есть имя того нового металла, который открыт был в 1831 году шведским физиком и химиком Нильсом Сёвстремом».



Голотурия, в крови которой имеется до 10 % ванадия



Андреас Мануэль дель Рио – профессор минералогии и химии в Мексике (1764–1849)

Так начинается рассказ о ванадии и его открытии в письме шведского химика Берцелиуса. Но в своем рассказе он забывает, что в комнату богини Ванадис еще раньше стучался замечательный человек – знаменитый Андреас Мануэль дель Рио. Это была одна из самых светлых фигур старой Испании. Горячий поборник свободы Мексики и борец за ее будущее, прекрасный химик и минералог, горный инженер и маркшейдер, сумевший впитать в себя блестящие идеи передовых ученых того времени. Еще в 1801 году дель Рио, изучая бурые свинцовые руды Мексики, открыл в них как будто бы новый металл. Так как соединения металла были окрашены в самые разнообразные цвета, он назвал его сначала панхромом, или всецветным, а позднее заменил это название на эритроний, то есть красный.

Но доказать свое открытие дель Рио не мог. Химики, которым он посылал образцы, признавали элемент в бурой свинцовой руде за хром, и эту же ошибку повторил и химик Вёлер, который так неуверенно и неудачно стучался к богине красоты Ванадис.

После долгих сомнений и многих неудачных попыток доказать самостоятельность этого металла нашел решение молодой шведский химик Сёвстрем. В то время в разных частях Швеции шло строительство домен для выплавки чугуна. При этом выяснилось, что железные руды одних рудников давали хрупкое железо, из других же, наоборот, получались высокие сорта гибкого и вязкого металла. Проверив химический состав этих руд, молодой химик очень скоро выделил особый черный порошок из магнетитовых руд горы Табер в Швеции.

Продолжая свои исследования под руководством Берцелиуса, он доказал, что имеет дело с новым химическим элементом и что этот же элемент содержится в бурой свинцовой руде из Мексики, о которой говорил дель Рио.

Что оставалось делать Вёлеру после этого несомненного успеха молодого шведа? В письме к своему другу он писал: «Я был настоящим ослом, что проглядел новый элемент в бурой свинцовой руде, и прав был Берцелиус, когда он не без иронии смеялся над тем, как неудачно и слабо, без упорства стучался я в дом богини Ванадис».

Сейчас замечательный металл ванадий сделался одним из самых важных металлов промышленности. Но как долго не давался он в руки человека! Ведь вначале килограмм ванадия стоил 50 тысяч рублей золотом, сейчас же только 10 рублей. В 1907 году его извлекали всего лишь в количестве 3 тонн в год, так как он никому не был нужен, а сейчас какая упорная борьба идет во всех странах за месторождения ванадия! Как замечательны его свойства, как нужен он в каждой стране! Уже в 1910 году было добыто 150 тонн металла, открыты были месторождения

в Южной Америке, в 1926 году добыча достигла 2 тысяч тонн; сейчас она превосходит 5 тысяч тонн.

Ванадий – важнейший металл автомобиля, брони, бронебойного снаряда, пробивающего пластины лучшей стали в 40 см толщиной; ванадий – металл современных самолетов, металл для тонких химических производств, металл для получения серной кислоты и прекрасных разнообразных красок.

В чем же разгадка главных его достоинств? Он влияет на сталь, делая ее более упругой, менее хрупкой, предохраняет ее от перекристаллизации под влиянием ударов и толчков; а ведь именно это и нужно для осей автомобиля или моторных валов, которые всегда находятся в сотрясении.

Но не менее замечательны и соли этого металла, зеленые, красные, черные, желтые, то золотистые, как бронза, то черные, как чернила. Они дают целую палитру прекрасных красок для фарфора, фотографической бумаги, особых чернил. Они служат также и для лечения больных...

Но не будем перечислять всех возможностей применения этого замечательного металла; лишь об одном еще мы должны упомянуть. Ванадий помогает в получении серной кислоты – этого главного нерва всей химической промышленности. При этом он ведет себя очень «хитро»: он только помогает химической реакции, катализирует ее, как говорят химики, но сам остается на месте в старом виде и не расходуется. Правда, некоторые вещества его отравляют и портят, но и на это есть свои лекарства. И металлический ванадий, и некоторые его соли своим присутствием как бы оказывают таинственное действие при получении самых сложных органических соединений, которые никак не получаются без его участия.

Но если ванадий такой чудодейственный металл, почему же мы так мало знаем о нем? Почему многие из вас, читателей, раньше никогда даже не слышали о нем? Да и добывают его в год на всей земле очень мало: около пяти тысяч тонн. А ведь это в 20 тысяч раз меньше годовой добычи железа и только в пять раз больше добычи золота.

Очевидно, что-то неблагополучно с его месторождениями и добычей, и, чтобы ответить на этот вопрос, мы должны спросить наших геологов и геохимиков. Вот что они рассказывают о поведении этого замечательного металла в земной коре.

Металла ванадия в нашей земле совсем не так мало. В доступной части земной коры наши геохимики насчитывают в среднем до 0,02 %, и это совсем не мало, если мы вспомним, что свинца содержится в земной коре в 15 раз меньше, а серебра в 2000 раз меньше. Так что, в сущности, ванадия в земле ровно столько же, сколько цинка и никеля, а ведь последние два металла нами добываются в сотнях тысяч тонн.

Но не только в земле и в доступной нам земной коре содержится ванадий. Вероятно, там, где сосредоточено самородное железо, количество ванадия довольно велико. Об этом нам говорят падающие на Землю метеориты. В их металлическом железе содержание ванадия раза в 2–3 больше, чем в земной коре. В спектре Солнца наши астрономы видят яркие сверкающие линии его атомов, но геохимики как раз этим и огорчаются. Всюду есть много ванадия, всюду в мироздании распространен этот нечетный металл, но мало таких мест, где бы он накапливался, где бы легко можно было добывать его для промышленности. Действительно, он распространен почти во всех железных рудах, и там, где его содержание доходит до десятых долей процента, он используется промышленностью. Возможность извлекать этот дорогой металл из тысяч тонн железа становится интересной и даже выгодной.

Когда химики открывают руду с содержанием одного процента ванадия, – газеты пишут об открытии богатого месторождения ванадия. Очевидно, какие-то внутренние химические силы все время стремятся рассеять атомы этого металла. Задача нашей науки – выяснить, что же собирает и накапливает эти рассеянные атомы, что может сломать их страсть к странствованию, рассеиванию и миграции. Такие силы в природе существуют; и мы, изучая месторождения этого металла, читаем сейчас замечательные страницы о тех процессах, которые собирают атомы ванадия и заставляют их накапливаться.

Ванадий, прежде всего, – металл пустынь: он боится воды, которая легко растворяет его и разносит по земной поверхности его атомы; он боится кислых почв наших средних и северных широт. Он находит себе «успокоение» лишь в южных широтах, где много кислорода в воздухе, где разрушаются жилы сернистых руд. В горячих песках Родезии и на его родине, в залитой солнцем Мексике, среди агав и кактусов, он создает желто-бурые железные шляпы, бурые холмы, как шлемы воинов покрывающие выходы сернистых руд.

Мы видим эти же соединения в древних пустынях Колорадо, встречаем их в древнепермской пустыне Приуралья, окаймленной с востока расширяющимся хребтом великих Уралов. Всюду соли ванадия образуются под горячим солнцем и в песках, собираются из рассеянных атомов его месторождения промышленного значения. И все-таки эти запасы его очень малы; его атомы стремятся выскользнуть из рук человека; но есть еще могучие силы, которые удерживают ванадий и не дают ему распыляться, – это клетка живого вещества, это организмы, у которых кровяные шарики строились не из железа, а из ванадия и меди.

Ванадий собирается в теле некоторых морских животных, особенно морских ежей, асцидий и голотурий, которые покрывают своими скоплениями тысячи квадратных метров заливов и берегов морей. Откуда улавливают они атомы ванадия, сказать трудно, так как в самой воде не удалось обнаружить этот металл. Очевидно, эти животные

обладают каким-то особенным химическим свойством извлекать ванадий из частичек пищи, ила, остатков водорослей и так далее. Ни один химический реактив не работает так четко и чисто, как живой организм, который умеет из миллионных долей грамма накопить в своем теле и после смерти оставить такие грандиозные количества, что человек может добывать из него металлы для своей промышленности.

Но как ни велики силы жизни, все же мало настоящих месторождений этого металла, ничтожен процент его содержания, затруднена его добыча из черных асфальтов, битумов и нефтей. Таинственны пути скопления его атомов на земной поверхности; и много еще должны поработать наши ученые, чтобы раскрыть загадку его извлечения и суметь связно рассказать его историю, так, чтобы отдельные звенья жизни ванадия в земле слились в одну общую цепь.

Тогда мы будем знать не только прошлые судьбы этого металла, но мы будем знать, где его искать, как его искать, и глубокие теоретические выводы превратятся в крупнейшие промышленные победы. Автомобили получают свой металл для осей, у линкоров и танков повысится процент ванадия в их броневой стали. Очень тонкие химические реакции при помощи ванадиевых катализаторов будут давать на заводах сотни и тысячи новых сложнейших органических соединений, нужных для питания, хозяйства и культуры.

Так отвечают нам геохимики на вопрос о месторождениях ванадия. Их ответ мы не можем признать удовлетворительным; мы должны требовать от них упорной, настойчивой работы, чтобы овладеть этим металлом для нужд нашей страны.

## ***Золото – царь металлов***

Золото давно было замечено человеком, вероятно, в виде сверкающих желтых крупинок в песках реки.

Много замечательного и поучительного мы узнаем, если проследить историю использования золота на сложных путях развития человечества. С самой колыбели человеческой культуры вплоть до империалистических войн с золотом связаны военные походы, завоевания целых континентов, борьба нескольких поколений народов, преступления и кровь.

В древних скандинавских сагах золото играет огромную роль; и борьба Нибелунгов – это борьба за освобождение мира от проклятия золота и его власти. Кольцо, скованное из золота Рейна, символизирует злое начало. Зигфрид ценой своей жизни должен освободить мир от власти золота и низвергнуть богов Валгаллы.

В древнегреческом эпосе есть миф о путешествии аргонавтов в Колхиду за золотым руном.

Здесь, на берегах Черного моря, в нынешней Грузии, они должны были найти руно – бараньи шкуры, покрытые золотым песком, и отбить их у охранявшего руно дракона.



Золотой гребень с изображением битвы скифов с греками. Культура V – конца IV в. до н. э.

В древнегреческих сказаниях и египетских папирусах можно прочесть о борьбе за золото на Средиземном море. Царь Соломон при построении знаменитого храма в Иерусалиме должен был добыть огромное количество золота, и он предпринял ряд походов в древнюю страну Офир, которую тщетно ищут историки то в истоках Нила, то в Эфиопии. Некоторые ученые считают, что слово «офир» просто значит «богатство» и «золото».

Существует легенда о муравьях, добывающих золото. Известно много версий этой легенды в истолковании различных исследователей.

Основой ее послужил рассказ о том, что одно из племен Индии жило в песчаной пустыне, в которой были муравьи величиной с лисицу. Эти муравьи из глубин земных выбрасывали вместе с песком в громадном количестве золото, за которым приезжали жители на верблюдах. Геродот подтверждает этот рассказ; нечто подобное можно найти и у Страбона, писавшего в 25 году до нашей эры.

Несколько другую версию приводит Плиний, но, во всяком случае, и европейские и арабские писатели не раз возвращались к этому рассказу еще и в Средние века. До сих пор нет настоящего объяснения этой легенде; наиболее вероятным является объяснение, которое говорит, что по-санскритски слово «муравей» и слово «зерно» (аллювиального золота) выражаются одними и теми же звуками. На этом сходстве слов – «частица золота» и «муравей», – по-видимому, и основывается возникновение легенды.

Дивные изделия из золота сохранились в древних кладах скифских эпох на юге России. Это замечательные изделия неведомых скифских ювелиров, изображающие чаще всего диких зверей в бешеном движении. Они сохраняются в Эрмитаже вместе с такими же тончайшими золотыми изделиями знаменитых сибирских кладов.

Золото всегда играло огромную роль в представлении древних. Алхимики давали ему знак солнца. В то время как славянский, германский и финский народы в корне этого слова имели буквы Г, З, О, Л (золото, гольд), у индо-иранских народов в корень этого слова ставили буквы А, У, Р, откуда и произошло латинское слово «аурум», от которого химики взяли современный знак золота в химии – Au.

Специальные исследования лингвистов посвящены проблеме названия золота и определению корней этого слова. Эти исследователи пытались найти те места, где находилось золото в древнем мире. Интересно при этом отметить, что в Египте иероглифом золота служило изображение платка, мешка или корыта, что, очевидно, говорит о методе добычи золота из россыпей.

Золото различалось по качеству и цвету. Источниками его в Египте являлись пески, местоположение которых детально обозначено в ряде письменных памятников. Золото находили в разных частях северо-западного Египта, по берегам Красного моря, в песках из древних

гранитов в районе Нила и в особенности в области Коссеира. Старые тексты указывают многочисленные точки добычи золота. Древние копи были также в пустынях Аравийской и Нубийской. Золотые рудники указываются уже за 2–3 тысячи лет до нашей эры.

В более поздних письменных памятниках золотые копи изображены и прекрасно описаны рядом авторов. В некоторых текстах указано, что золото связано с блестящей белой породой, очевидно кварцевыми жилами, которая у некоторых древних авторов неправильно называлась греческим словом «марморос». Известны цена, способы добычи, методы эксплуатации и прочее.

Открытие Америки в XV веке – новая страница в истории золота. Испанцы привезли из Америки грандиозное количество драгоценного металла, они получили его путем военных грабежей и наводнили золотом Европу.

В начале XVIII века (с 1719 года) в песках Бразилии были открыты богатые золотые россыпи. Всюду началась «золотая горячка», начались поиски золота и в других странах. В середине того же века в России около города Екатеринбурга (ныне Свердловска) были найдены первые кристаллики золота в кварцевой породе. Через столетие, в 1848 году, в Америке было сделано замечательное открытие: на далеком западе, за границей Скалистых гор, почти на берегах Тихого океана, в таинственной тогда еще Калифорнии неким Джоном Суттером, погибшим потом в нищете, были открыты месторождения золота.

Туда устремились золотоискатели; целые караваны повозок, запряженных быками, двигались на запад за новым счастьем. Не прошло и пятидесяти лет, как золото было открыто в Клондайке на полуострове Аляске, который так безрассудно был по дешевке продан нашим царским правительством Соединенным Штатам Америки. Из рассказов Джека Лондона мы знаем о том, как протекала борьба за золото в Клондайке.

Сохранились фотографии «черных змей», прокладывавших дорогу через снежные вершины и просторы полярных гор; это были сплошные потоки людей, тащивших на плечах или на маленьких санках свой скарб и увлеченных идеей вернуться назад с горами золота.

В 1887 году открыты были первые золотые россыпи в Южной Африке, в Трансваале; но это богатство не принесло счастья бурам, открывшим его. После долгой и кровопролитной борьбы Англия сумела завоевать эту страну и почти уничтожила свободолюбивый народ буров. Сейчас в Трансваале добывается свыше 50 % всей мировой добычи золота. Есть золото и в Австралии.

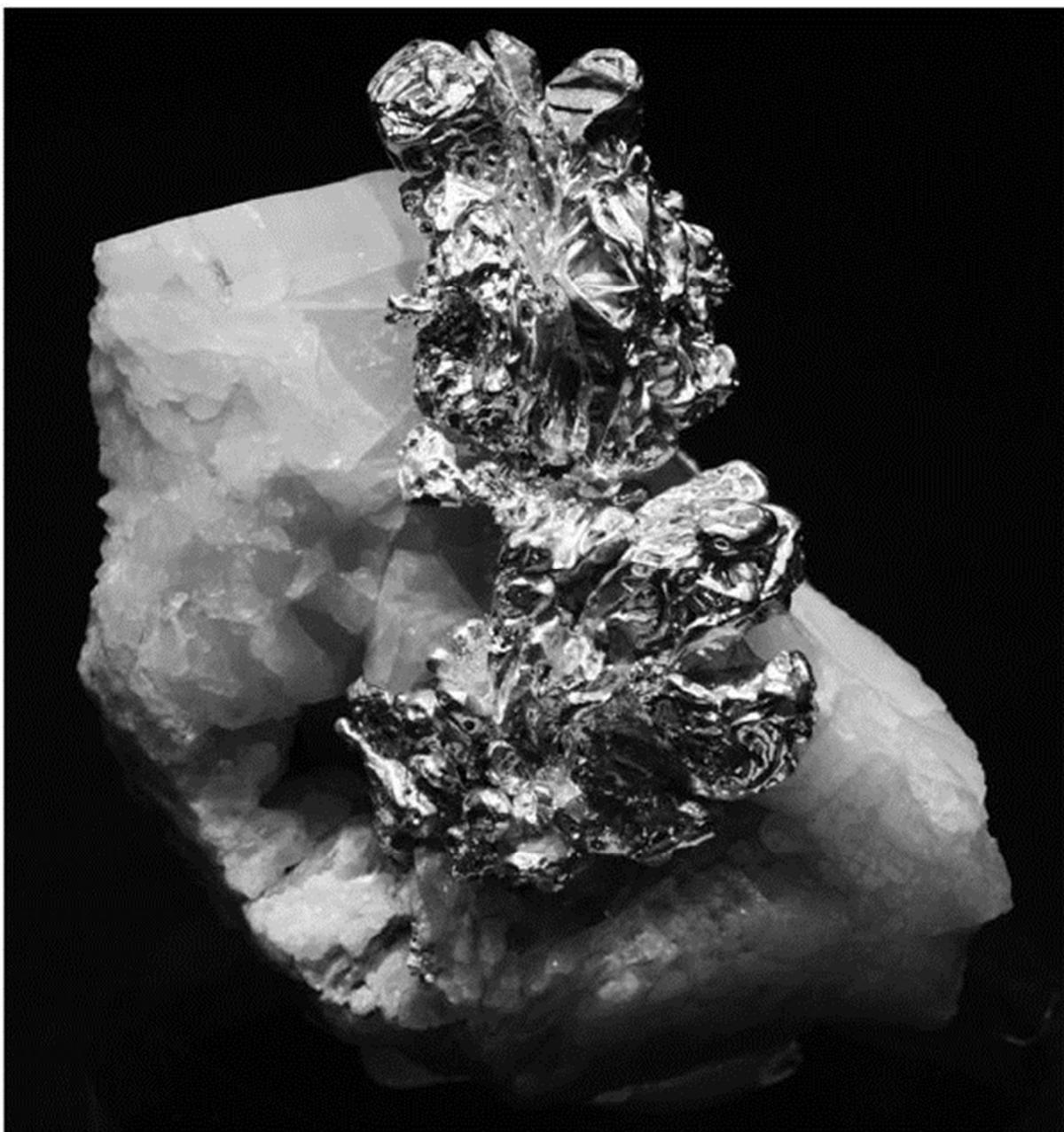
Очень своеобразна была история завоевания золота у нас, в нашей стране. В 1745 году на Урале, около Екатеринбурга, по реке Березовке было открыто крестьянином Ерофеем Марковым жильное золото. В 1814 году на Урале же впервые были открыты золотые россыпи штейгером Брусницыным, наладившим его промышленное использование. Таким

образом, колыбелью русской золотопромышленности является Урал. Во второй половине XIX века нашумело открытие россыпей на реке Лене, в Сибири.

Это были сказочные богатства, на которые бросились авантюристы всех марок и всех стран. Одни ставили столбы и продавали заявки, другие в тяжелых условиях тайги мыли золото и возвращались богачами, третьи тоже добывали золото, но пропивали его тут же на месте, четвертые – и их было большинство – гибли от цинги и непогоды.

Еще большие богатства были открыты в начале 20-х годов двадцатого столетия на Алдане.

Мне пришлось как-то встретиться с одним старателем, работавшим в первые годы после открытия знаменитых Алданских приисков. Он рассказывал о прошлом Алдана, о наплыве авантюристов, бежавших из белых армий, бросивших все, чтобы проникнуть в верховья реки Алдана и разбогатеть на золоте. Он рассказывал об одном священнике, который оставил свой приход, с огромным трудом добрался до верховьев этой реки, сколотил плот и проник в труднодоступную местность, где намыл 25 пудов драгоценного металла.



Природное золото

Он рассказал далее, как на Алдан пришла советская власть – и золотые прииски, называвшиеся краем золота и слез, стали планомерно организованным валютным цехом нашей Родины. Много было открыто позднее и других богатых золотом месторождений.

Так постепенно шла борьба за золото в истории человечества. Свыше 50 000 т этого металла было добыто, причем примерно половина его попала в банки, где скопилось больше 10 миллиардов рублей золотом. Успехи техники позволили постепенно добывать все большее и большее количество металла, переходить от богатых руд к бедным.

Сначала это были простые кустарные способы добычи, промывка песков ковшами, лоточками, а затем теми «американками»<sup>[50]</sup>, которые разошлись по всему миру после открытия золота в Калифорнии.

Впоследствии россыпи стали разрабатывать гидравлическим методом – сильными струями воды, а мелкие золотишки стали растворять в растворах цианистых соединений и, наконец, научились добывать золото из твердых коренных пород, применяя самые совершенные методы извлечения на огромных обогатительных фабриках.

Человечество принимает все меры, чтобы сохранить собранное золото, и бережет его под замками, в крепких хранилищах государственных банков, а суда, перевозящие золото, сопровождаются конвоем из военных кораблей. Из обращения золото в виде монеты изъято, потому что оно слишком быстро стиралось и гибло.

Человек добыл за истекшие тысячелетия своей культурной и хозяйственной жизни не более как одну миллионную часть всего золота, которое содержится в земной коре. Так почему же люди сделали золото своим кумиром – основой богатства? Нет никакого сомнения, что золото обладает рядом замечательных особенностей. Оно – представитель «благородных металлов», то есть тех металлов, которые не изменяются на поверхности, сохраняют свой сверкающий блеск, не растворяются в обычных химических реактивах.

И действительно, способностью растворять золото обладают только свободные галоиды, как хлор или царская водка, представляющая смесь из трех частей соляной кислоты и одной части азотной кислоты, а также некоторые редкие ядовитые цианистые соли.

Золото отличается очень большим удельным весом. Наравне с платиновыми металлами это один из самых тяжелых элементов земной коры, – удельный вес его достигает 19,3. Оно плавится сравнительно нетрудно, нагретое немного свыше тысячи градусов, но зато очень трудно превращается в летучие пары. Для того чтобы довести золото до кипения, надо нагреть его до 2600°. Золото очень мягко и прекрасно куется, его твердость не выше твердости самых мягких минералов, и в чистом виде его можно поцарапать ногтем.

Химики очень тонко определяют золото. Достаточно присутствия одного атома золота среди миллиарда атомов других металлов, чтобы его смогли выявить в лаборатории (то есть определить с точностью до  $1 \times 10^{-10}$  грамма). Такое количество вещества при современной технике нельзя взвесить никакими весами.

Золота совсем не так мало в земной коре, но оно рассеяно; и сейчас химики подсчитали, что среднее содержание золота в земле примерно пять стомиллионных процента. Но ведь серебра, которое считается гораздо более дешевым металлом, всего только вдвое больше в земной коре! Самое замечательное, что золото распространено в природе всюду. Оно найдено в раскаленных парах в атмосфере Солнца, оно

встречается (правда, в меньших количествах, чем на Земле) в падающих метеоритах, оно имеется и в морской воде. Последние точные опыты показывают, что золота в морской воде пять миллиардных долей, то есть в одном кубическом километре морской воды золота находится пять тонн.

Золото попадает в граниты, накапливается в самых поздних расплавах гранитных магм, проникает в горячие кварцевые жилы, и там вместе с другими сернистыми соединениями, особенно железа, мышьяка, цинка, свинца и серебра, оно выкристаллизовывается при сравнительно низких температурах – около 150–200°. Так образуются большие скопления золота. При разрушении гранитов и кварцевых жил золото попадает в россыпи и, благодаря своей стойкости и удельному весу, собирается в нижних слоях песков. На него почти не влияют химически водные растворы, циркулирующие в пластах земной коры.

Много и долго трудились геологи и геохимики для того, чтобы выяснить судьбу золота на поверхности Земли. Точные исследования показали, что оно странствует и здесь.

Оно не только механически измельчается до субмикроскопических размеров и в таком виде уносится в огромных количествах реками, но и частично растворяется, особенно в южном климате, где реки содержат много хлора, перекристаллизовывается и попадает в растения и в почвенные покровы. Опыты показали, что корни деревьев всасывают золото в свою древесину. Несколько лет тому назад ученые доказали, что золото собирается в зернах кукурузы в довольно большом количестве. Но еще больше золота накапливается в золе некоторых каменных углей, где количество его достигает одного грамма на тонну золы.

Таким образом, мы видим, что золото проходит сложнейший путь в земной коре, пока человек не извлечет его. Но все же, как ни бьется больше 2000 лет человеческая мысль в борьбе за добычу золота, как ни грандиозны отдельные золотые предприятия, все же история, полная история этого металла нам неизвестна.

Наши сведения о судьбе рассеянного золота так малы, что мы не можем составить полную цепь из отдельных звеньев его странствования. Куда делось золото, вынесенное в моря и океаны после размыва грандиозных горных цепей и гранитных скал, куда исчезло золото большого пермского моря, оставившего у берегов Урала богатейшие остатки солей, известняков и битумов?

Геохимики и геологи, вам еще очень много работы. На просторе миллионов квадратных километров наших золотоносных областей Сибири есть где разгуляться смелой научной мысли!

Но будущее золота – не в кладовых банков, не в биржевой игре маклеров и капиталистов, а в новых путях использования этого металла, широко применяемых советской наукой, точными отраслями индустрии, в

точной промышленности электротехники, радиотехники – всюду, где нужен неизменяемый металл большой электропроводимости, устойчивый против всех химических реагентов. И из кладовых и сейфов золото перейдет на заводы и в лаборатории, как вечный металл!

## ***Редкие рассеянные элементы***

Земная кора состоит из многих десятков химических элементов. Только 15 из них являются сравнительно частыми и обычными: их мы можем встретить в составе почти каждой горной породы, остальные же более редки.

При этом некоторые из более редких элементов образуют крупные скопления в форме рудных минералов в рудных залежах; другие, как, например, золото или платина, содержание которых в земной коре очень невысоко, образуют мельчайшие, едва видимые крупинки самородных металлов и только очень редко – более крупные самородки.

Но как они ни редки, они встречаются в виде самостоятельных минералов, пусть даже очень мелких, даже таких мелких, что глазу не видно, но все-таки в виде своих собственных минералов. А вот есть такие химические элементы, которых мало в земной коре, и своих минералов они не образуют<sup>[51]</sup>. Химические соединения этих элементов растворены в других, более обыкновенных минералах; растворены подобно тому, как соль или сахар растворяются в воде, когда по внешнему виду не скажешь, чистая ли это вода или в ней что-то растворено.

Точно так же трудно и не всегда можно по внешнему виду минералов судить, какие химически растворенные примеси в них содержатся. Если воду достаточно попробовать на вкус, чтобы сказать, безвкусная она, соленая или сладкая, то химический анализ минералов производится значительно сложнее, и особенно трудно выделить те химические элементы, которые прячутся в чужих минералах.

Сложный, длинный путь странствований по расплавам и по растворам прошли химические элементы, прежде чем в горных породах или в минеральных жилах они соединились в твердые минералы, наиболее устойчивые химические соединения. На этом длинном пути они испытали много различных превращений. Вместе и неразлучно прошли этот путь только те, которые особенно похожи друг на друга.

А чем больше сходство в химических свойствах двух каких-либо элементов, тем труднее найти такую химическую реакцию, которой их можно было бы разделить. И вот некоторые редкие элементы, вместо того чтобы выделиться в виде своих минералов, растворились, рассеялись иногда по многим минералам других химических элементов; поэтому мы и называем их рассеянными элементами.

Что же это за элементы? В обыденной жизни и даже на школьных уроках по химии о них не услышишь, хотя с развитием техники эти элементы все больше и больше входят в наш обиход.

Это галлий, индий, таллий, кадмий, германий, селен, теллур, рений, рубидий, цезий, радий, скандий и гафний<sup>[52]</sup>. Мы перечислили только наиболее характерные, но при желании этот список можно было бы еще увеличить.

Давайте посмотрим, где же и как эти редкие рассеянные элементы находятся в природе, как человек научился их открывать в других минералах и где они употребляются.

Вот перед нами лежит желтовато-бурый минерал, который в изломе часто образует совершенно ровные блестящие грани. Минерал этот довольно тяжелый, но внешне мало напоминает собою руду, хотя это и руда.

Этот минерал называется цинковой обманкой, или, иначе, сфалеритом.

Состав его очень прост: на один атом цинка приходится атом серы. Но это только основной фон, это только главные составные части. Простота состава цинковой обманки только кажущаяся. Если наш образец желтовато-бурый, то другие образцы этого же минерала могут быть и бурыми, и темно-бурыми, и черно-бурыми, и даже совсем черными и тогда уже обладают настоящим металлическим блеском.

В чем же дело?

Оказывается, что темная окраска цинковой обманки зависит от растворенной в ней примеси сернистого железа: цинковые обманки, не содержащие железа, почти бесцветны или желтовато-зеленого и светло-желтого цвета. Чем больше железа, тем менее окрашена цинковая обманка. Значит, в отношении железа верным указателем служит окраска этого минерала. Изучение внутреннего строения цинковой обманки рентгеновскими лучами показало, что отдельные частицы цинка и серы в ней расположены так, что каждый атом цинка окружен четырьмя атомами серы, а каждый атом серы – четырьмя атомами цинка.

И вот на место отдельных атомов цинка встало железо и вызвало окраску цинковой обманки, причем атомы железа расположились вполне равномерно; атом железа встал или вместо каждого сотого атома цинка, или вместо каждого пятидесятого, или каждого тридцатого, двадцатого, десятого... И вот тут-то гостеприимный хозяин – цинк – обратился к железу и сказал: «Не слишком ли ты заселил мою квартиру?» Хотя железа в природе гораздо больше, чем цинка, железо способно замещать цинк в цинковой обманке только до известного предела; особенность, которую ученые называют ограниченной смесимостью.

Этот пример может быть использован и еще для одного интересного сравнения: подобно тому как в свободной барсучьей норе не будет искать себе приюта медведь, для которого на зиму нужна гораздо более

просторная берлога, и воспользоваться ею могут только близкие по размеру звери, так и в цинковой обманке место цинка могут замещать только те элементы, атомы которых близки по размеру к атому цинка.

И в цинковой обманке мы встречаем из редких рассеянных элементов кадмий, галлий, индий, таллий, германий... Как видно, цинк является очень гостеприимным хозяином. Но не только цинк, а также и сера способна, в значительно, правда, меньшей степени, оказывать гостеприимство двум другим редким рассеянными элементами – селену и теллуру.

Как видите, состав цинковой обманки оказывается гораздо более сложным, чем это кажется с первого взгляда. Примерно то же самое можно сказать и о так называемых блеклых рудах, и о медном колчедане (халькопирите), и о многих других минералах.

Но геохимики выяснили еще дополнительные закономерности: оказывается, что богатые железом черные цинковые обманки обычно кадмия почти не содержат, но зато богаты индием, а иногда и германием; что галлий накапливается главным образом в светло-бурых цинковых обманках, а кадмий – в медово-желтых. Селеном и теллуrom обычно богаче темноокрашенные разновидности. Как видите, дружба между химическими элементами неодинаковая, и разные условия, разные соседи определяют собою, каких «квартирантов» можно поселить на предназначенное для цинка место...

Обнаружение редких рассеянных элементов оказывается делом непростым и требует особых приемов. Высокая ценность заставляет искать их даже тогда, когда процент содержания их очень мал. На помощь обычному химическому анализу с его наиболее усовершенствованными методами и наиболее чувствительными химическими реакциями пришли спектроскопический и рентгенохимический анализы.

Они, не требуя сложных химических разделений, способны сразу указать, какие еще химические элементы и в каких количествах находятся в данном минерале. Цинковая обманка, содержащая только 0,1 процента индия, уже является не цинковой, а индиевой рудой, потому что стоимость индия, даже при таком невысоком его содержании, больше, чем стоимость всего цинка...

Чем же заслужили редкие рассеянные элементы такое внимание, почему ими так интересуются, чем определяется их высокая ценность? Основная причина – это специфичность их применения. Это те своеобразные, особенные свойства, которыми обладают или сами металлы, или продукты, полученные из их соединений.

Так, окись тория светится при накаливании ярким, ослепительным светом, что нашло применение в газонакалильных сетках.

Рубидий и цезий дают зеркала, легко испускающие электроны, что делает их незаменимыми в фотоэлементах.

Давайте проследим, где и как применяются редкие металлы или их соединения, которые добываются из только что описанной цинковой обманки.

Кадмий... Светло-серый, сравнительно мягкий и легкоплавкий металл, плавится он при температуре  $321^{\circ}$ . Но стоит одну часть металлического кадмия сплавить с одной частью олова, двумя частями свинца и четырьмя висмута (каждый из этих металлов плавится при температуре выше  $200^{\circ}$ ), как получится сплав, известный под названием сплава Вуда. Он плавится при температуре всего лишь  $70^{\circ}$ .

Подумайте только! Если сделать из такого сплава чайную ложку и начать размешивать ею сахар, опущенный в стакан горячего чая, то ложка может расплавиться и... на дне стакана, под слоем чая, окажется жидкий металл! А при других соотношениях в сплаве тех же четырех металлов можно получить сплав Липовича – он плавится всего лишь при  $55^{\circ}$ ! Ведь таким расплавленным металлом даже руку себе не обожжешь.

Легкоплавкие металлы применяются во многих областях техники.

Есть металл, который в чистом виде можно расплавить, держа его в руке. Это галлий, один из тех редких рассеянных элементов, которые находятся в цинковой обманке (кроме того, галлий встречается в слюдах, в глинах и еще в некоторых минералах).

Галлий плавится всего лишь при  $30^{\circ}\text{C}$ , и после ртути, которая плавится при минус  $39^{\circ}$ , галлий является одним из наиболее легкоплавких металлов и успешно заменяет при этом ртуть, пары которой, как известно, очень ядовиты, чего нельзя сказать про галлий. Поэтому галлий, как и ртуть, может быть применен в производстве термометров, но если ртутными термометрами обычно можно измерять температуру от минус  $40$  до плюс  $360^{\circ}$ , когда ртуть закипает, галлиевыми термометрами можно измерять температуру от плюс  $30^{\circ}$  до температуры размягчения стекла, то есть до  $700\text{--}900^{\circ}$ , а если взять кварцевое стекло, то и до  $1500^{\circ}$ , так как галлий закипает при температуре  $2300^{\circ}$ .

Если стекло для трубок таких термометров взять специальное, огнеупорное, то таким термометром можно измерять температуру пламени или температуру многих металлов в расплавленном состоянии.

Кстати, у галлия есть еще одна интересная особенность: подобно тому, как вода тяжелее льда, и поэтому льдины плавают на воде, так и твердый металлический галлий легче, чем расплавленный, и способен плавать на жидком галлии.

Эта редкая особенность присуща еще висмуту, парафину, чугуны. У всех же остальных веществ – наоборот: твердое вещество при плавлении тонет в собственном расплаве.

Но вернемся к кадмию. Этот металл, кроме ценных легкоплавких сплавов, применяется в трамвайном хозяйстве.

Приходилось ли вам видеть старую трамвайную дугу? Какой глубокий желоб образуется в ней в результате постоянного трения о провод! Так же изнашивается и трамвайный провод, о который трется дуга.

И вот оказывается, что достаточно прибавить всего лишь 1 % кадмия, чтобы изнашиваемость проводов значительно уменьшилась. Кадмий в трамвайном хозяйстве применяется еще для получения цветных стекол для сигнальных фонарей. Прибавление сернистого кадмия к стеклу вызывает окраску стекла в красивый желтый цвет, а селенистого кадмия – в красный цвет.

Применение индия не менее интересно, чем применение кадмия.

Известно, что сплавы, содержащие медь, очень быстро и сильно разрушаются под действием соленой морской воды. И тем не менее не всегда можно эти сплавы заменить химически более устойчивыми веществами, которые требуются для подводных лодок и гидросамолетов. Оказывается, что если прибавить к этим сплавам очень небольшое количество индия, то их устойчивость по отношению к химическому действию соленой воды моря значительно возрастет.

Прибавление металлического индия к серебру значительно повышает его блеск, то есть повышает его отражательную способность. Это свойство использовано в производстве зеркал для прожекторов: индий, содержащийся в зеркале, заметно усиливает свет прожектора.

Совершенно неожиданными свойствами обладает редкий рассеянный элемент селен, ближайший родственник серы, обычно присутствующий в малых количествах в сернистых рудах.

В зависимости от освещенности селен резко изменяет свою электропроводность. Это свойство селена используется в технике передачи изображений по телеграфу и радио. На этом построены многие автоматические контроллеры, регистрирующие светлые или темные детали на конвейере. Наконец, точное измерение освещенности стало возможным только благодаря селену.

Другое важное применение селена – в производстве чистого, бесцветного стекла. Стекло обычно варится из кварцевого песка, извести и щелочи (сода или сернистый натрий). Песок стараются брать возможно более чистый, особенно не содержащий железа, потому что железо в стекле придает ему зеленоватый оттенок, которым, например, обладает бутылочное стекло.

Достаточно ничтожных количеств железа, чтобы эта окраска появилась. А для оконных стекол нужно чистое, бесцветное стекло; еще лучшего качества стекло необходимо для очков, и совершенно безукоризненное стекло нужно для оптических приборов: микроскопов, биноклей, телескопов. Если прибавить в расплавленное стекло селенистоокислого

натрия, то селен входит в химическое соединение с железом, извлекая его тем самым из стекольного расплава, и получается прекрасное бесцветное стекло.

Для производства специальных оптических приборов, для светосильных биноклей, дающих сильное увеличение, для светосильных фотоаппаратов стекло должно обладать еще рядом специальных свойств. И это достигается прибавлением в небольших количествах двуокиси германия.

Германий – это один из редких рассеянных элементов, который, как и селен, присутствует в малых количествах в некоторых разновидностях цинковых обманок. Германий встречается также в некоторых сортах каменного угля<sup>[53]</sup>.

Итак, мы познакомились с тем, как редкие рассеянные элементы ведут себя в минералах и рудах. Мы познакомились с некоторыми свойствами этих необычных металлов и их своеобразным применением.

Важность этих применений объясняет нам, почему геохимия уделяет много внимания редким рассеянным элементам.

## История атома в природе

### *Метеориты – вестники Вселенной*

Темная безлунная ночь. Погасли последние отблески вечерней зари. Ярко загорелись звезды в беспредельной глубине небесного свода, переливаясь и мерцая разноцветными лучами. Мало-помалу утих и шум в селениях. Кругом словно все замерло в ночной тишине, лишь слабый ветерок еле слышно колышет листву на деревьях...

Вдруг все озарилось ярким, трепещущим светом. Стремительно пронесся по небу огненный шар, рассыпавший искры и оставивший после себя слабо светящийся, как бы туманный след. Шар погас, не долетев до горизонта, так же мгновенно, как и появился, и снова все погрузилось в ночной мрак. Но не прошло и нескольких минут, как раздались отрывистые удары, словно взрывы или выстрелы из тяжелых орудий. Потом послышался грохот, треск и продолжительный, постепенно утихающий гул.

Наверное, кому-либо из наших читателей приходилось видеть описанное явление. Но что это такое? Что это за огненный шар и откуда он появился?

В межпланетном пространстве, кроме девяти больших планет: Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и Плутона<sup>[54]</sup>, движется вокруг Солнца большое число малых планет<sup>[55]</sup>, или

астероидов. Теперь известно свыше 1605 астероидов, из которых самый большой, Церера, имеет диаметр в 770 километров, а поперечник наименьшего, Адониса, равен всего лишь одному километру. Несомненно, что существует бесчисленное множество еще более мелких астероидов. Их поперечники измеряются уже метрами и даже сантиметрами. В сущности это уже не планеты, а скорее обломки скал или камни и мелкие крупинки, которые можно даже положить на ладонь. Какие же это планеты? Их мы не увидим с Земли даже в самые сильные телескопы. Их называют метеорными телами, и все они не имеют правильной шарообразной формы, а представляют собой обломки.

Большинство крупных астероидов движется вокруг Солнца, каждый по своей определенной орбите, в пространстве между орбитами Марса и Юпитера. Здесь они в совокупности образуют так называемый «пояс» астероидов. Орбиты огромного числа мелких астероидов или метеорных тел выходят за пределы этого пояса. Они пересекают орбиты больших планет, в том числе и нашей Земли. Совершая свои движения вокруг Солнца, Земля и метеорное тело могут оказаться одновременно на пересечении своих орбит. В этот момент метеорное тело и входит в атмосферную оболочку Земли, вызывая появление на небе огненного шара, называемого болидом.

Метеорное тело при влете в атмосферу могло двигаться в межпланетном пространстве навстречу Земле. В этом случае скорость влета его может быть чрезвычайно большой, достигая 70 и более километров в секунду. Если же метеорное тело двигалось в том же направлении, как и наша Земля, то есть было «догоняющим» или «догоняемым», то его начальная скорость равна приблизительно 11 км в секунду. Но и такая, наименьшая, скорость очень велика; она во много раз превосходит скорость снаряда или пули.

Вследствие такой большой, как говорят, космической, скорости влетевшее в атмосферу метеорное тело испытывает сильное сопротивление воздуха. Даже на высоте 100–120 км над поверхностью Земли, где, как мы знаем, атмосфера чрезвычайно разрежена, сопротивление оказывается настолько значительным, что поверхность метеорного тела нагревается до нескольких тысяч градусов и начинает светиться. Раскаляется и воздух, окружающий метеорное тело. В этот момент и появляется на небе стремительно несущийся огненный шар – болид. Он представляет собой раскаленную газовую оболочку вокруг метеорного тела. Встречные потоки воздуха стремительно срывают непрерывно расплавляющееся с поверхности вещество метеорного тела и разбрызгивают его на мельчайшие капельки. Затвердевая в виде шариков, эти капельки образуют тот как бы дымный след, который остается по пути движения болида. На высоте около 50–60 км над земной поверхностью, где атмосфера становится уже достаточно плотной для того, чтобы в ней могли распространяться звуковые волны, вокруг метеорного тела образуется так называемая баллистическая

волна. Она представляет собой уплотненный слой воздуха перед метеорным телом. Достигая земной поверхности, баллистическая волна производит удары, грохот и гул, которые бывают слышны спустя несколько минут после исчезновения болида.

Стремительно проникая во все более плотные нижние слои атмосферы, метеорное тело испытывает быстро нарастающее сопротивление воздуха. Движение его тормозится, и на высоте около 10–20 км оно теряет свою космическую скорость. Метеорное тело как бы «вязнет» в воздухе. Этот участок его пути называется «областью задержки». Здесь прекращается нагревание и разрушение метеорного тела. Если оно не успело полностью разрушиться, то расплавленный на его поверхности тонкий слой быстро охлаждается, затвердевает и превращается в кору. Раскаленная газовая оболочка вокруг метеорного тела исчезает. Вместе с нею исчезает и летевший по небу болид. Остаток же метеорного тела, покрытый корой плавления, падает после области задержки почти вертикально, подчиняясь притяжению Земли. Этот упавший на Землю кусок метеорного тела и называется метеоритом.

Наиболее яркие болиды наблюдают даже днем при полном солнечном свете. Особенно хорошо видны оставляемые ими следы в виде дымной полосы. Эти следы можно наблюдать в течение многих минут и иногда даже свыше часа.

Под влиянием сильных воздушных течений в верхних слоях атмосферы, направленных на разных высотах в разных направлениях, след болида, сначала прямолинейный, постепенно искривляется. Он, словно легендарный исполинский змей, простирается по небу и исчезает, разрываясь на клочья.

Болиды и оставляемые ими следы и породили в народе легенды о полетах огненных змеев и сказку о Змее Горыныче.

Яркие болиды появляются довольно редко. Но вот метеоры, или, как их еще называют, «падающие звезды», наверное, видели многие наши читатели.

Метеоры образуются при влете в атмосферу из межпланетного пространства метеорных тел очень маленьких размеров, весом в доли грамма. Такие метеорные тела-крупинки полностью разрушаются в атмосфере и не достигают земной поверхности.

Теперь мы познакомимся подробно с метеоритами, этими вестниками Вселенной, пришельцами из межпланетного пространства.

В Минералогическом музее Академии наук СССР в Москве помещается самая крупная в нашей стране и лучшая в мире коллекция метеоритов. Здесь имеется много редких метеоритов, имеющих те или иные особенности.

В большом светлом зале музея, в многочисленных его витринах можно видеть чудесные образцы камней; о многих из них рассказывается в этой книге. Они поражают своей разноцветной, порой очень яркой окраской. Но наряду с такими привлекающими взор камнями в особых витринах видны какие-то однообразные, серые, бурые и черные камни и куски частично поржавевшего железа. Что это за невзрачные экспонаты? Да ведь это и есть метеориты! Долго-долго, целые миллиарды лет путешествовали они в межпланетном пространстве и, наконец, при встрече с Землей прекратили свое странствование.

Метеориты представляют собой *единственное взеземное вещество*, которое мы можем изучать в наших лабораториях непосредственно, применяя современные сложнейшие методы исследования и аппаратуру. Мы можем держать метеориты в руках, определять их химический и минералогический состав, изучать их сложную структуру и физические свойства. Они раскрывают перед нами замечательные страницы из истории Вселенной и эволюции небесных тел. Они могут рассказать нам о многих интереснейших и удивительных явлениях, совершающихся за пределами нашей Земли. Еще многое пока остается в метеоритах не открытым, а некоторые интересные особенности их не получили еще окончательного объяснения. Однако углубленные исследования метеоритов с каждым годом получают все большее развитие, и все полнее становятся наши представления о метеоритах.

Метеориты подразделяются на железные, каменные и железокаменные. Железные метеориты состоят из сплава железа с никелем. Они падают значительно реже, чем каменные. Так, на каждые 16 каменных метеоритов в среднем падает лишь один железный. Еще реже падают железокаменные метеориты.

Вот перед нами черный обломок неправильной формы. Это каменный метеорит Кузнецово<sup>[56]</sup>, упавший в Западной Сибири 26 мая 1932 года; он весит немногим более двух с половиной килограммов и со всех сторон покрыт черной корой плавления. Лишь в одном месте на нем имеется небольшой откол, и здесь видно внутреннее пепельно-серое вещество метеорита.

По внешнему виду оно почти ничем не отличается от земных горных пород. Но, всматриваясь внимательно в излом, можно заметить многочисленные мельчайшие блестки, рассеянные в веществе метеорита. Это включения никелистого железа (сплава железа с никелем). Среди таких включений видны блестки бронзово-желтого цвета – это минерал троилит, химическое соединение железа с серой. Наряду с троилитом встречаются включения другого, более светлого на вид минерала – соединения железа с фосфором, называемого шрейберзитом.

На изломе видно, что кора плавления, покрывающая метеорит, очень тонка, ее толщина не превышает десятых долей миллиметра.

Привлекают внимание своеобразные, то округлые, то несколько вытянутые ямки на поверхности метеорита, напоминающие следы пальцев. Эти ямки называются регмаглиптами. Они образуются на метеоритах в результате воздействия на них отдельных раскаленных газовых струй во время движения в атмосфере с космической скоростью. Кора плавления и регмаглипты являются основными признаками метеоритов.

А вот лежит другой каменный метеорит. Он наполовину обколот, и на месте излома видно такое же черное внутреннее вещество метеорита, как и его кора плавления. Это так называемый углистый хондрит Старое Борискино, упавший 20 апреля 1930 года в Оренбургской области. Этот метеорит имеет еще и другие замечательные особенности, с которыми мы познакомимся далее.

Рядом с этим метеоритом лежит каменный метеорит почти совсем белого цвета как внутри (на местах излома), так и снаружи (цвет коры плавления). Это метеорит Старое Песьяное, упавший в Курганской области 2 октября 1933 года. После его падения было найдено свыше десятка отдельных камней, общим весом около 372 кг. Этот метеорит отличается хрупкостью. Он легко крошится даже при легком нажатии пальцев.

Удивительно, как такой хрупкий метеорит смог преодолеть огромное сопротивление земной атмосферы, не рассыпавшись в песок, когда он стремительно проносился в ней с космической скоростью. Но, оказывается, все дело в том, что его область задержки оказалась расположенной высоко над поверхностью Земли в сильно разреженном слое атмосферы, на высоте 43 км.

Продолжаем наше знакомство с метеоритной коллекцией. В соседней витрине видны группы камней разных размеров и камни, имеющие неправильные формы.

На витрине имеется надпись: «Метеоритные дожди».

Оказывается, метеорные тела при движении в земной атмосфере с космической скоростью почти всегда раскалываются на отдельные части, которые рассеиваются по земной поверхности. Это раскалывание происходит вследствие неправильной формы метеорных тел, а отсюда – вследствие неравномерного давления воздуха на его поверхность.

Случалось, что на Землю выпадали настоящие каменные дожди, после которых собирали многие тысячи отдельных небольших метеоритов.

Самый обильный метеоритный дождь выпал в США 19 июля 1912 года около местечка Голбрук. Здесь, на площади около 4 км<sup>2</sup>, было собрано 16 000 камней, общим весом в 218 кг.

В витрине мы видим камни метеоритного дождя Первомайский Поселок. Это один из наиболее обильных каменных метеоритных дождей в нашей стране. Он выпал в Ивановской области 26 декабря 1933 года, причем на

площади около 20 км<sup>2</sup> было собрано 97 камней, общим весом около 50 кг.

Большое участие в сборе этого метеоритного дождя приняли учащиеся школ. Метеоритный дождь выпал зимой. Поэтому отдельные метеориты, пробив снеговой покров, задержались на поверхности мерзлой земли. Это позволило сравнительно легко собрать метеориты на поле весной на следующий год, как только сошел снег.

В музее рядом с камнями метеоритного дождя Первомайский Поселок лежат камни другого метеоритного дождя —

Жовтневый Хутор, выпавшего 9 октября 1938 года в Донецкой области. Эти камни отличаются большим размером, и наиболее крупные из них весят 32, 21, 19 кг, а общий вес всех собранных 13 камней составляет 107 кг.

Интересны камни еще одного метеоритного дождя, Пул-туск, выпавшего в Польше 30 января 1868 года. После этого дождя было собрано 3000 камней.

А вот в отдельной витрине лежат рядом два интересных метеорита: гигант и карлик. Один из них весит 10 272 кг, а другой, размером с орех, — всего лишь около 7 г. Эти метеориты упали одновременно 13 сентября 1937 года в Татарской АССР, на расстоянии около 27 км один от другого. Кроме этих двух, здесь было собрано еще 15 камней, общим весом около 200 кг.

Перейдем к следующей витрине. Здесь показаны образцы метеоритов наиболее обычной формы — обломочной. Но вот лежит метеорит, похожий на головку снаряда. Это каменный метеорит Каракол, упавший в бывшей Семипалатинской губернии еще 9 мая 1840 года. Он весит около 3 кг. Такую конусообразную, так называемую ориентированную, форму этот метеорит получил в результате обтачивающего действия земной атмосферы во время движения его с космической скоростью. Он упал на Землю, не расколовшись в атмосфере.

Рядом с этим метеоритом лежит другой метеорит, железный — Репеев Хутор, также имеющий коническую форму. Он упал 8 августа 1932 года в Астраханской области и весит свыше 12 кг. Однако конусообразная форма этого метеорита объясняется иной причиной. Оказывается, это деформированная («обточенная» атмосферой) форма октаэдра, которую метеорит имел в межпланетном пространстве.

Наше внимание привлекает метеорит, напоминающий по форме огромный кристалл. Это каменный метеорит Тимохина, весом около 49 кг, упавший 25 марта 1807 года в бывшей Смоленской губернии. Такую форму этот метеорит получил вследствие раскола метеорного тела на несколько частей во время движения в атмосфере с космической скоростью.



Экземпляр Сихотэ-Алинского железного метеоритного дождя, выпавшего в Приморском крае 12 февраля 1947 г.

На специальных постаментах лежат наиболее крупные метеориты. Самый крупный из них весит почти две тонны (1745 кг). Это наиболее крупный экземпляр замечательного Сихотэ-Алинского железного метеоритного дождя. Метеорит привлекает внимание своей очень интересной структурой поверхности. Он имеет резко выраженные регмаглипты вытянутой формы, направленные радиально к центральной части широкой поверхности метеорита. Регмаглипты показывают, как обтекали метеорит отдельные раскаленные газовые струи во время движения его в атмосфере с космической скоростью. Под лупой на поверхности метеорита видна сложная структура коры плавления. Она характеризует воздействие атмосферы на метеорит.

Рядом с этим метеоритом лежат еще три крупных экземпляра того же Сихотэ-Алинского дождя, весом в 500, 450 и 350 кг.

Сихотэ-Алинский метеоритный дождь выпал на Дальнем Востоке утром 12 февраля 1947 года. На площади 0,75 км<sup>2</sup>

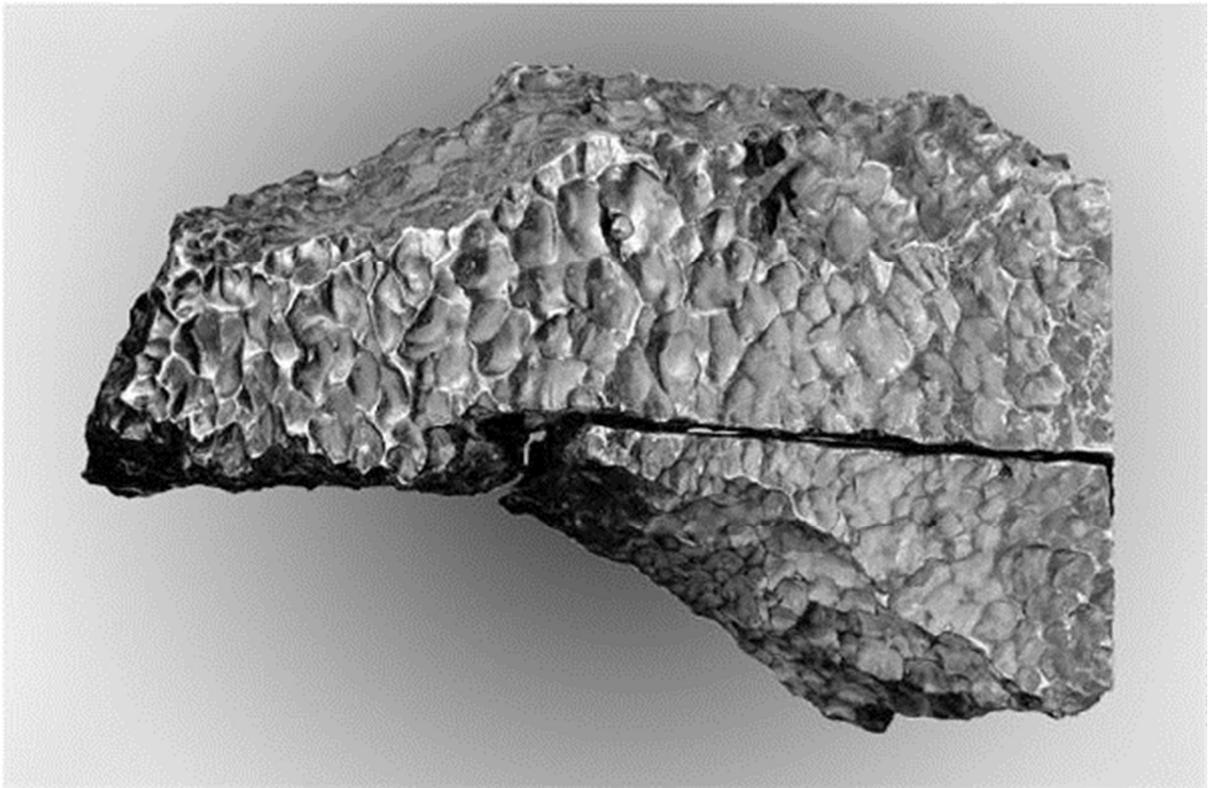
были обнаружены 122 воронки, диаметром от 0,5 до 26,5 м, и 78 лунок, диаметром менее 0,5 м. Эти воронки и лунки были образованы падением на Землю отдельных более крупных частей метеоритного дождя, весом от десятков килограммов до нескольких тонн каждая часть. Но, кроме того, было собрано свыше 175 мелких частей – «капель» метеоритного

дождя, весом от долей грамма до десятков килограммов каждая, которые лежали на поверхности грунта. Всего было собрано и доставлено в Москву около 23 т метеоритных осколков. Однако общий вес всего выпавшего метеоритного вещества определяется приблизительно в 70 т.

Еще более крупный метеорит упал в Центральной Сибири утром 30 июня 1908 года. Это знаменитый Тунгусский метеорит. Он был настолько велик, что весил сотни тысяч тонн. Пробив всю толщу земной атмосферы, он ударился о грунт с космической скоростью, превышавшей несколько километров в секунду. Вследствие мгновенной остановки в момент удара весь огромный запас энергии движения метеорита перешел в теплоту. Метеорит мгновенно нагрелся до многих тысяч градусов и превратился в раскаленный пар. Произошел взрыв, которым была повалена тайга в радиусе до 30–40 км. Летом 1957 года в образцах почвы, доставленных из района падения метеорита, были обнаружены мельчайшие металлические частицы – метеоритная пыль, образовавшаяся в результате взрыва метеорита.



Поваленные деревья в районе падения Тунгусского метеорита



Метеорит Богуславка

В настоящее время известно около десятка так называемых метеоритных кратеров, расположенных в разных местах земного шара. Они образовались в результате падения и взрыва гигантских метеоритов. Один из крупнейших метеоритных кратеров, известный под названием Аризонского, расположен в США. Он имеет диаметр в 1200 м и глубину приблизительно в 180 м.

Замечателен еще один железный метеорит Богуславка, упавший 18 октября 1916 года в Приморском крае. Он состоит из двух кусков, весом в 199 и 57 кг. Этот метеорит раскололся в воздухе во время движения.

А вот лежит крупный каменный метеорит Кашин, весом в 127 кг, упавший 27 февраля 1918 года в бывшей Тверской губернии.

Мы оканчиваем наше знакомство с метеоритами осмотром еще одной витрины. В ней лежат две половинки распиленного пополам крупного метеорита, первоначально весившего свыше 600 кг. Обе поверхности распила отполированы, и видна замечательная внутренняя структура метеорита. Мы видим, что метеорит представляет собой как бы железную губку, пустоты которой заполнены стекловатым зеленовато-желтоватым минералом – оливином. Это первый из сохранившихся метеоритов нашей страны, получивший название «Палласово железо». Он относится к классу железокремнистых (палласитов).

Метеорит был найден в 1749 году в Сибири кузнецом Медведевым. В 1777 году метеорит был доставлен по распоряжению академика П. С. Палласа в Петербург, в Академию наук. Здесь его изучал член-корреспондент Академии, известный ученый Э. Ф. Хладни. Результаты своих исследований он опубликовал в городе Риге в 1794 году в специальной книге. В этой книге он впервые доказал внеземное происхождение этой железной глыбы, то есть принадлежность ее к метеоритам, а также возможность падения метеоритов на Землю.

В то время выводы Хладни подверглись критике и насмешкам со стороны высокомерных западноевропейских ученых. Они не признавали возможности падения метеоритов и сообщения очевидцев о таких случаях считали выдумками. Но спустя почти десятилетие после выхода в свет книги Хладни, 26 апреля 1803 года во Франции, вблизи городка Лэбль, выпал обильный каменный метеоритный дождь, после которого было собрано около 3000 камней. Падение этого метеоритного дождя наблюдали многочисленные жители. После этого парижским ученым, а с ними и другим ученым Западной Европы ничего не оставалось делать, как только признать существование метеоритов.



Метеорит «Палласово железо»

Из сказанного мы видим, что наша страна явилась родиной науки о метеоритах – метеоритики.

Описанные выше большие метеориты из коллекции Академии наук СССР не являются еще наибольшими.

Самым большим в мире является железный метеорит Гоба, найденный в Западной Африке в 1920 году. Он весит около 60 т и имеет форму четырехугольной плиты, размерами 3 × 3 × 1 м. Метеорит до сих пор лежит на месте находки, подвергаясь разрушающему действию атмосферы.

Есть еще железные метеориты, весом в 34, 27, 15 т. Из каменных метеоритов самый крупный весит около тонны. Он упал в США в 1948 году.

Теперь ознакомимся с внутренней структурой метеоритов.

В особой витрине мы видим специально подобранные образцы. Вот лежит железный кусок с отполированной поверхностью, имеющей зеркальный блеск. Рядом с этим образцом лежит другой, полированная поверхность которого протравлена слабым раствором кислоты. Мы видим на поверхности какой-то удивительный рисунок из переплетающихся между собой полосок, окаймленных тонкими блестящими каемками. Рисунок получился в результате неравномерного травящего действия кислоты.

Дело в том, что железные метеориты, оказывается, неоднородны в своей массе. Они сложены из отдельных пластинок-балок, шириной от долей миллиметра до 2 и более миллиметров. Эти балки состоят из железа с небольшой примесью никеля, не свыше 7 %. Благодаря этому полированные поверхности таких балок поддаются действию кислоты и после травления становятся шероховатыми, матовыми. Наоборот, узкие блестящие полоски, окаймляющие эти балки, состоят из железа с большой примесью никеля, около 24–25 %. Вследствие этого они очень стойки по отношению к раствору кислоты и после травления остаются такими же блестящими, какими были до травления. Рисунок, получающийся на протравленных пластинках, называется видманштеттеновыми фигурами, по имени ученого, впервые открывшего эти фигуры.

Железные метеориты, показывающие после травления видманштеттеновы фигуры, называются октаэдритами, так как образующие эти фигуры балки расположены вдоль плоскостей геометрической фигуры – октаэдра.

На протравленных поверхностях некоторых железных метеоритов появляются вместо видманштеттеновых фигур тонкие, параллельные

между собой линии, называемые неймановыми, по имени ученого, их открывшего.

Метеориты, показывающие неймановы линии, содержат наименьшее количество никеля, около 5–6 %. Каждый из них представляет собой монокристалл во всей своей массе, то есть является единым кристаллом кубической системы, имеющим шесть граней и называемым гексаэдром. Поэтому железные метеориты, показывающие неймановы линии, называются гексаэдритами.



Видманштеттеновы фигуры на протравленной поверхности пластинки, выпиленной из железного метеорита

Встречается и еще один тип железных метеоритов, называемых атакситами, что означает «лишенные порядка». Такие метеориты содержат наибольшее количество никеля (свыше 13 %) и при травлении полированных поверхностей не показывают какого-либо определенного рисунка.

Очень интересную структуру имеют и каменные метеориты.

Вот лежит обломок метеорита, на изломе которого даже невооруженным глазом хорошо видны совершенно правильные шарики, напоминающие

дробинки. Под микроскопом в некоторых метеоритах вся поверхность излома кажется усыпанной такими шариками, размеры которых очень малы и составляют доли миллиметра и меньше. Шарики называются хондрами, а метеориты, их содержащие, – хондритами.

Хондриты представляют собой наиболее распространенный тип метеоритов, составляя приблизительно 90 % всех каменных метеоритов. Хондры являются образованиями, свойственными только метеоритам. Они совершенно не встречаются в земных горных породах, поэтому их присутствие в неизвестном образце может служить надежным указанием на то, что этот образец является каменным метеоритом. Ученые пришли к выводу, что хондры представляют собой быстро застывшие капли расплавленного вещества метеорита.

Наряду с хондритами имеются, правда, в значительно меньшем количестве, каменные метеориты, совершенно не содержащие хондр и называемые ахондритами. На изломах таких метеоритов видны угловатые обломки отдельных минералов, сцементированные мелкозернистой основной массой метеорита. Структура таких метеоритов очень похожа на структуру земных горных пород. Есть и еще другие, еще более редкие типы каменных метеоритов, имеющие свои особенности, но на них мы не будем останавливаться.

Теперь посмотрим, из чего же состоят метеориты. Вот перед нами таблица химического состава метеоритов разного класса.

Название химических элементов	Средний химический состав		
	Железные	Железокаменные	Каменные
Железо	90,85	49,50	15,60
Никель	8,50	5,00	1,10
Кобальт	0,60	0,25	0,08
Медь	0,02	—	0,01
Фосфор	0,17	—	0,10
Сера	0,04	—	1,82
Углерод	0,13	—	0,16
Кислород	—	21,30	41,00
Магний	—	14,20	14,30
Кальций	—	—	1,80
Кремний	—	9,75	21,00
Натрий	—	—	0,80
Калий	—	—	0,07
Алюминий	—	—	1,56
Марганец	—	—	0,16
Хром	—	—	0,40

Мы видим в ней знакомые нам химические элементы и ни одного нового. Неужели в метеоритах, в этих пришельцах из далеких пространств Вселенной, действительно нет никаких новых химических элементов, каких-нибудь еще более удивительных, чем знакомые нам земные химические элементы? Неужели в каких-либо отдаленных уголках межпланетного пространства нет чего-либо нового, совсем непохожего на земное?

И действительно, самые точные и самые подробные химические анализы разнообразных метеоритов, производившиеся на протяжении более сотни лет многими учеными, показали, что в метеоритах нет ни одного не известного на Земле химического элемента. Вместе с тем в метеоритах находятся практически все известные на Земле химические элементы, хотя большинство из них составляет ничтожно малую долю, уловимую только при очень тонких спектральных анализах.

Изучение вещественного состава метеоритов блестящим образом подтверждает материальное единство Вселенной: и метеориты, и наша Земля, и вообще все небесные тела Солнечной системы состоят из одних и тех же химических элементов. Это говорит об их общем происхождении, об их генетической связи.

За последние годы ученые получили еще одно важное подтверждение общности происхождения небесных тел.

Были произведены исследования изотопного состава целого ряда химических элементов земного и метеоритного происхождения. В результате оказалось полное тождество изотопного состава.

Из приведенной таблицы среднего химического состава метеоритов мы видим, что в каменных метеоритах более всего распространены следующие химические элементы: кислород (41,0 %), железо (15,5 %), кремний (21,0 %), магний (14,3 %), сера (1,82 %), кальций (1,8 %), никель (1,1 %), алюминий (1,56 %).

Кислород присутствует в метеоритах в виде соединений с другими элементами, образуя различные минералы (силикаты и окиси).

Приведенные в таблице числа представляют собой средний химический состав.

Однако содержание химических элементов в отдельных метеоритах может значительно отличаться от их среднего состава.

Драгоценные металлы встречаются в метеоритах в ничтожных количествах. Например, на одну тонну вещества метеорита в среднем приходится: серебра и золота по 5 г, а платины 20 г.

Метеориты непрерывно падают на Землю. По подсчетам ученых, ежегодно падает по крайней мере тысяча метеоритов. Однако только ничтожная часть их, всего лишь 4–5 метеоритов в течение года, бывает найдена после падения.

Большинство метеоритов падает в моря и океаны, в полярные страны и пустыни, в горные и лесистые районы и вообще вдали от населенных мест. Разрушаясь под влиянием атмосферного воздействия, они примешиваются к почве. Метеоритные атомы смешиваются с земными. Из почвы они попадают в растения и через растения, которые употребляют в пищу, а также через животных, поедающих растения и служащих пищей человека, метеоритные атомы попадают и в организм человека.

Мы видим самую тесную связь не только нашей Земли, но и ее органического мира с окружающей ее частью Вселенной.

Ученые пытались подсчитать ежегодный прирост массы Земли за счет падения метеоритов. Каждые сутки на Землю падает несколько тысяч тонн метеоритного вещества.

Таким образом, за год прирост Земли достигает миллиона тонн. Это, конечно, ничтожное количество, даже если оно и будет несколько увеличено за счет оседания из атмосферы метеорной пыли, образующейся в ней при движении метеорных тел и их разрушений. Академик В. И. Вернадский считал, что никакого прироста массы Земли не происходит. Получая вещество в виде метеоритов и метеорной пыли,

Земля, – писал он, – отдает в Солнечную систему другие материальные частицы, атомы, главным образом газы и тончайшую пыль. В результате существует подвижное материальное равновесие. Таким образом, академик Вернадский пришел к выводу, что мы имеем дело «не со случайным падением отдельных метеоритов, болидов, космической пыли на Землю, а с большим планетным процессом, с материальным обменом нашей планеты с космическим пространством». В этом процессе и заключается неизбежное взаимодействие нашей Земли с окружающей средой, с межпланетным пространством.

В основном метеориты сложены из тех минералов, которые широко распространены и в земных горных породах. Это оливин и безводные силикаты: энстатит, бронзит, гиперстен, диопсид и авгит; встречаются также минералы из группы полевых шпатов.

Но в метеоритах не были обнаружены многие минералы, представляющие собой продукты выветривания. Не были найдены и какие-либо органические вещества.

Характерным для метеоритов является также отсутствие в них минералов из группы водных силикатов, то есть таких минералов, в которых присутствует связанная вода. Долго и упорно ученые пытались найти в метеоритах такие минералы, и все попытки их оказывались безуспешными. Только совсем недавно советскими учеными был обнаружен минерал из группы хлоритов, то есть водный силикат. Однако его содержат только те метеориты, которые относятся к редкому типу каменных метеоритов, к так называемым углистым хондритам.

Исследование показало, что связанная вода, входящая в состав хлоритов, составляет 8,7 % веса всего метеорита.

Это открытие имеет важное значение для решения основной нашей задачи – выяснения условий происхождения метеоритов.

Важное значение имеет и открытие в метеоритах таких минералов, которые неизвестны на Земле. Правда, такие минералы присутствуют в метеоритах в очень небольших количествах. Тем не менее они указывают на иные условия образования метеоритов, чем те, при которых образовалась земная кора. Особенно большой интерес представляет открытие в метеоритах явлений метаморфизма, при котором происходило изменение не только структур метеоритов, но и самих минералов. Такой метаморфизм был вызван нагреванием метеоритов. Детальное изучение метаморфизма метеоритов, получающее особенно большое развитие в последние годы, раскрывает перед нами историю метеоритов, историю их блужданий в межпланетном пространстве.

В метеоритах присутствуют и радиоактивные химические элементы. Один из таких элементов – калий – находится в каменных метеоритах в заметном количестве. При радиоактивном распаде калия получается аргон. Поэтому из соотношения количеств содержащихся в метеоритах

аргона и калия можно определить возраст метеоритов, то есть тот промежуток времени, который прошел с момента образования (затвердения) метеоритов.

Измерения возраста метеоритов по аргону и калию были сделаны советскими учеными в последние годы. Эти измерения установили возраст метеоритов от 600 миллионов до 4 с лишним миллиардов лет.

О том, откуда метеориты попадают на Землю, мы теперь знаем. Но вот когда и как образовались метеориты, – пока еще трудно сказать, над разрешением этой важнейшей проблемы работают теперь ученые, занимающиеся изучением метеоритов.

Большинство советских ученых считает, что метеориты вместе с астероидами представляют собой обломки одного или (вероятнее всего) нескольких крупных небесных тел – планет, распавшихся в далеком прошлом. Но это пока только предположение, рабочая гипотеза, для подтверждения и полного доказательства которой нужны еще дальнейшие всесторонние исследования метеоритов. Нет сомнения в том, что вопрос о происхождении метеоритов, о их роли в образовании планетной системы и ее дальнейшем развитии будет окончательно разрешен.

## ***Атомы в глубинах Земли***

В занимательных романах Жюль Верна, Жорж Санд и академика В. А. Обручева описаны путешествия к центру Земли, в недоступные глубины мира. В других произведениях фантазия писателя следует за полетом в неведомые выси. Эти книги, начиная с фантастических романов XVII века вплоть до тщательно рассчитанных «полетов на Луну» К. Э. Циолковского, уводят нас в далекие, казалось бы, недоступные миры.

В этих увлекательных романах проявился пытливый ум человека, который не мог и не может примириться с тем, что он живет на тоненькой пленке Земли и что всего лишь каких-нибудь 20–25 км земной оболочки доступны его глазу.

Нет никакого сомнения, что в борьбе за расширение мира и овладение миром за последние пятьдесят лет человек добился больших успехов. Носившие часто спортивный характер восхождения на высочайшие снежные вершины сменились научными экспедициями Академии наук СССР за овладение Памиром.

Отошли в прошлое представления о неприступности высоких слоев атмосферы, куда не доходят ни шум, ни сутолока Земли, ни химическая борьба земных молекул: наши смелые стратонавты Федосеенко, Васенко и Усыскин ценою своей жизни открыли первую страницу в овладении воздушными высотами.

Полеты на стратостатах, полеты ракет сильно подвинули познание областей, где очень резко уменьшается количество вещества, где на один кубометр приходится в миллионы раз меньше частиц, чем в воздухе у поверхности Земли<sup>[57]</sup>.

Человека влекут прежде всего высоты, и здесь достижения совершенно реальны: техника добилась огромных результатов, и ученые знают этот далекий, недоступный нам еще мир гораздо лучше, чем тот, который расстилается под нашими ногами, – мир глубин Земли.

В познании глубин наши успехи значительно слабее. Сюда влечет человека главным образом борьба за нефть и золото. Он бурит скважины и пробивает шахты, проникающие в недра Земли, но самые глубокие нефтяные скважины – не более 5 км<sup>[58]</sup>, а самая глубокая шахта на золото – меньше 3000 м<sup>[59]</sup>. И это считается уже блестящей победой.

В стремлении добыть золото и нефть человек, конечно, сумеет проникнуть еще глубже. Весьма вероятно, что достижения новой техники позволят перекрыть эти рекорды еще на несколько километров. Но что такое эти несколько километров по сравнению с величиной земного радиуса в 6370 км? Всего какая-то тысячная доля!

Совершенно понятно, что с таким положением вещей человеческая мысль мириться не может, и всех людей науки, начиная с самых древних философов и кончая астрономами нашего времени, занимает проблема внутреннего строения Земли и пути овладения глубинами планеты. Попробуем хотя бы отрывочно представить себе то, что мы знаем о земных глубинах, совершив мысленно путешествие от земной поверхности до глубин и посмотрим, что встретится нам на этом пути.

\* \* \*

Первую попытку описать путешествие в земные глубины мы встречаем у Ломоносова. Правда, эти его идеи разбросаны в ряде трудов, но А. Н. Радищев в своем «Слове о Ломоносове» (1780 год) собрал их воедино. Любопытно, что Радищев, заканчивая свое знаменитое «Путешествие из Петербурга в Москву», как раз последние страницы своего рассказа о тяжелом странствовании по ухабам грязной почтовой дороги посвящает своеобразному путешествию Ломоносова к центру Земли и рисует картины, которые увидит ученый, если он последовательно будет спускаться от земной поверхности к земным недрам. Вот это замечательное описание:

«Трепещущ нисходит [Ломоносов] в отверстие и скоро теряет из виду живоносное светило. Желал бы я последовать ему в подземном его путешествии, собрать его размышления и представить их в той связи и тем порядком, какими они в разуме его возродились. Картина его мыслей была бы для нас увеселительною и учебною. Проходя первый слой земли, источник всякого прозябания, подземный путешественник обрел его несходственным с последующими, отличающимся от других

паче всего своею плодоносною силою. Заключал, может быть, из того, что поверхность сия земная не из чего иного составлена, как из тления животных и прозябаний, что плодородие ее, сила питательная и возобновительная, начало свое имеет в неразрушимых и первенственных частях всяческого бытия, которые, не переменяя своего существа, переменяют вид только свой, из сложения случайного рождающийся. Проходя далее, подземный путешественник зрел землю, всегда расположенную слоями. В слоях находил иногда остатки животных, в морях живущих, находил остатки растений и заключать мог, что слоистое расположение земли начало свое имеет в наплавном положении вод и что воды, переселяясь из одного края земного шара к другому, давали земле тот вид, какой она в недрах своих представляет.

Сие единовидное слоев расположение, теряясь из его зрака, представляло иногда ему смешение многих разнородных слоев. Заключал из того, что свирепая стихия огонь, проникнув в недра земные и встретив противуборствующую себе влагу, ярьась, мутила, трясла, валила и метала все, что ей упорствовать тщилось своим противодействием. Смутив и смешав разнородные, знойным своим дохновением возбудила в первобытностях металлов силу притяжательную и их соединила. Там узрел Ломоносов сии мертвые по себе сокровища в природном их виде, вспомянул алчбу и бедствие человеков и с сокрушенным сердцем оставил сие мрачное обиталище людской ненасытности».

Разбираясь в этом замечательном тексте, мы можем сказать, что он полностью отвечает нашим современным представлениям; ни одно слово в нем не может быть нами опровергнуто. Только язык у нас другой.

Но вот если эту фантастическую картину ученого XVIII века мы попытаемся сопоставить с картиной нашего гораздо более реального представления о недрах, изученных с помощью буровых инструментов, то увидим следующее.

Несколько лет назад в Москве, за Крестьянской Заставой была построена небольшая вышка, которую никто не видел со стороны улицы. В этой вышке находился буровой станок, который должен был пробурить до больших глубин нашу землю, чтобы узнать, на чем стоит Москва.

Стали упорно и долго бурить, стремясь дойти до глубин в несколько километров. Сначала прошли глины и пески, которые были отложены на Московской равнине южными потоками большого, спускавшегося из Скандинавии ледника. Это были последние пароксизмы той ледниковой эпохи, которая сплошной пеленой снега и льда покрыла весь север Европейской части Союза.

Под этими глинами шли различные известняки, они перемежались прослойками мергелей и опять глин, местами среди известняков попадались известковые скелеты и раковинки, известняки сменялись песками, а среди них отдельные угольные прослойки говорили нам об

угольных бассейнах, которые снабжают своим топливом и газом Центральную промышленную область. Геологи детально рассмотрели осадки древних каменноугольных морей и нашли, что эти моря сначала были неглубокими, берега их были покрыты буйной растительностью, бурно разраставшейся в условиях влажного и жаркого климата. Потом эти моря стали углубляться, воды с востока и севера набегали и ломали леса, уничтожали растения; роскошный мир подводных живых существ положил начало коралловым рифам, банкам ракушняка.



Высотное здание в Москве у Красных Ворот, облицованное белым известняком Подмосковья

В это время и откладывались те известняки, которые шли на постройку домов в Москве и по которым Москва и получила прозвание Белокаменной. Эти же известняки широко используются и в настоящее время.

Всю эту сложную серию слоев, оседавших в течение долгой каменноугольной эпохи, продолжавшейся много десятков миллионов лет, пересекла наша буровая скважина, пока не встретила новые толщи огромных количеств гипса. Сотни метров прошла она сквозь гипсовые осадки по глинистым прослойкам, через большие количества воды.

Эти воды были насыщены сначала сернокислыми солями, а потом, чем глубже, тем более увеличивалось в них содержание хлористых солей; буровая скважина проникла в рассолы, в десять раз более насыщенные солями, чем морская вода. Это были преимущественно хлористые соли натрия, кальция, но среди них много было и солей брома и йода.

Это была картина уже не каменноугольной, а еще более древней, девонской эпохи. Это были исчезающие моря с соляными озерами, лиманами и пустынями, которые окружали берега этих морей; соли, откладывавшиеся на их дне мощным покровом, перемежались то с тонкими прослоями илов, то с пылью, нанесенной ураганами и смерчами девонской пустыни.

Буровая скважина проникла уже на 1,5 км. Что же будет дальше? Что будет под этими осадками древних девонских морей, какие новые картины встретит геолог, когда углубится еще на несколько сот метров? Сложные догадки волновали ученых, а смелая мысль искала различных гипотез. Но вот на глубине 1645-м появились пески. Это, по-видимому, были берега девонского моря; пески говорили о том, что близка суша. Среди них попадались отдельные гальки изверженных пород, окатанные обломки берега моря. Это были уже берега, настоящие берега, и через 10 м скважина врезалась в твердый гранит.

Так в конце июля 1940 года в Москве буровой инструмент впервые достиг гранитного остова – той основы, на которой покоится вся русская земля от Ленинграда на севере до Украины на юге. Вскоре новые буровые скважины в Сызрани и дальше на востоке достигли гранитного ложа примерно на той же глубине и подтвердили гениальные прогнозы академика А. П. Карпинского, что под поверхностью всей нашей Европейской равнины лежат древние гранитные массы – та старая платформа, или щит, которую мы знаем по красивым скалам гранитов и гнейсов Карелии на севере, а на юге – по берегам Днепра и Буга. Буровая скважина прошла еще 20 м в твердом граните. По определениям геологов, это были настоящие гранитные породы, те древние осадки, возраст которых мог исчисляться не меньше чем в миллиард лет.

Так буровая скважина достигла глубокого гранитного ложа под Москвой. А что лежит дальше? Чего можно ждать под этими гранитами? Можно ли еще пройти до 2000 м, чтобы достигнуть тех глубин, на которых плавают гранитные массы? Этот вопрос вызвал бурные споры.

Одни считали, что безнадежно продолжать дальнейшее бурение, что много сотен и даже тысяч метров нужно пройти, чтобы закончились эти твердые толщи гранито-гнейсовой платформы. Другие настаивали на том, чтобы продолжать бурение и разгадать загадку еще больших глубин. Огромные трудности стояли на пути, и с каждым следующим метром все сложнее и сложнее делалась работа бурильщиков, поднимавших из глубин почти в 2 км красивые розовые твердые керны гранито-гнейсов. Сейчас еще невозможно достигнуть самых глубоких слоев Земли, для этого еще слаба та техника, которой владеет человек. В борьбе за овладение более глубокими зонами Земли надо идти иными путями. Об этом впервые заговорил в 1875 году молодой австрийский геолог Эдуард Зюсс.

Он поставил перед собой задачу – рассмотреть Землю с высоты птичьего полета с точки зрения геологии и уже родившейся тогда геохимии. Зюсс попытался наметить основные, более однородные слои, из которых состоит Земля. Для этого он пошел прежде всего по пути старых философов и разделил Землю на три простых оболочки: воздух, или атмосфера, окружающая сплошным сводом всю Землю; гидросфера – это воды и океан, которые покрывают твердую землю и пропитывают ее, и, наконец, литосфера – область камня, где в глубинах вечно бушует огонь, выдыхаемый вулканами.

Это деление он продолжил еще дальше на основе анализа химического состава твердых пород.

В 1910 году английский натуралист Муррей подразделил слои Земли на отдельные оболочки и назвал их геосферами.

И вот с этого времени началась упорная работа химиков и физиков, геохимиков и геофизиков для того, чтобы дальше и глубже разгадать строение этих отдельных оболочек, или геосфер. Во всей широте и глубине эту задачу поставил русский ученый В. И. Вернадский со своей школой. Вместо внешней картины «лика Земли» перед геологами и геохимиками возникла проблема воссоздать все своеобразие процессов, идущих в каждой геосфере, и дать всю картину внутреннего строения нашей планеты.

Попытаемся сейчас кратко охарактеризовать те оболочки, из которых состоит наша планета, так, как рисует их геофизика на основе изучения поведения упругих колебаний волн, достигающих огромных глубин и своими отражениями намечающих границы отдельных геосфер.

Наши ученые сейчас насчитывают тринадцать оболочек, начиная с недоступного нам межзвездного пространства, наполненного метеорами и молекулами водорода, гелия и отдельными атомами натрия, кальция и

азота. На высоте примерно в 200 км от нас проводится нижняя граница этого слоя. Ниже начинается стратосфера: количество азота и кислорода увеличивается. Целый пояс озона отделяет отдельные части стратосферы. Северные сияния зажигаются на высотах в несколько сотен километров, светящиеся облака поднимаются до 100 км.

На высоте 10–15 км начинается второй слой, который мы называем тропосферой. Это наша воздушная стихия, привычный нам воздух с азотом, кислородом, гелием и другими благородными газами, пропитанный парами воды, углекислотой.



Камчатка. Авачинский вулкан

Далее идет зона мощностью примерно в 5 км, которую называют биосферой, – область жизни живого вещества. Она захватывает и верхние части земной коры и ее водной оболочки. Дальше следует зона водной оболочки, ее называют гидросферой. Водород, кислород, хлор, натрий, магний, кальций и сера – вот те элементы, которые определяют ее состав.

Затем начинается твердая оболочка – вначале кора выветривания, которую мы хорошо изучили, с кислыми солями и почвенным покровом, потом оболочка осадочных пород – осадков старых морей, – это глины, песчаники, известняки и угольные прослойки. Уже на глубинах 20–40 км мы встречаемся с новой прослойкой, названной метаморфической.

Еще глубже лежат граниты, богатые кислородом, кремнием, алюминием, калием, натрием, магнием, кальцием. Где-то на глубине примерно в 50–70 км они сменяются базальтами с магнием, железом, титаном и фосфором, которые идут на смену алюминия и калия. Резкий перелом наступает на глубине 1200 км. Здесь твердая толща сменяется своеобразным расплавом, и новая, перидотитовая, или оливиновая, оболочка состоит из кислорода, кремния, железа, магния с тяжелыми металлами – хромом, никелем и ванадием.

Существование оболочек различного состава в глубинах Земли отчетливо намечается на основании изучения волн землетрясения, воспринимаемых чувствительными приборами – сейсмографами. Изобретение академиком Б. Б. Голицыным очень чувствительных приборов дало возможность улавливать не только те волны, которые идут по кратчайшему пути, но и волны, огибающие весь земной шар, и волны, отражающиеся от границ слоев Земли разной плотности, например от земного ядра. Эти-то данные и служат вескими аргументами в пользу существования слоев литосферы. Некоторые ученые думают, что здесь до глубины 2450 км идет рудная оболочка со скоплениями титана, марганца и железа.

Еще более резкий скачок в плотностях наблюдается при глубинах в 2900 км, где, наконец, как предполагают, начинается центральное ядро, свойства которого для нас еще очень загадочны, но которое, по всей вероятности, состоит из железа и никеля, содержащего примеси кобальта, фосфора, углерода, хрома и серы. Так рисуют сейчас геофизики и геохимики строение нашей Земли, и каждая из этих оболочек характеризуется элементами, которые преобладают в ее составе. Для каждой характерны свои температуры и свои давления.

Но все же в этой сложной, во многом еще, может быть, неточной картине есть одна область, которая неизменно привлекает наше внимание. Это область, в которой мы живем и которая выделяется из всех геосфер своими особыми свойствами. Это пояс в 100 км – пояс химической жизни, область земных химических процессов, область бурных пароксизмов, колебаний температур и давлений, область землетрясений, вулканических извержений, область разрушения в одних местах и возрождения в других, область охлаждения расплавов глубинных очагов, горячих источников, рудных жил, наконец, область жизни самого человека, с его бурными исканиями, постоянной борьбой с природой и за природу, область, населяемая миллионами видов живых существ, область новых своеобразных и сложных сочетаний химических молекул, область жизни, борьбы, искания, область новых процессов и новых превращений!



Озеро в кратере вулкана Санторин образовалось около 3500 лет назад.  
Греческий архипелаг

Эта область жизни недаром называется геологами тропосферой, то есть поясом движения. Этот пояс живет своей сложной химической жизнью, и процессы стройки и сочетаний химических элементов в нем определяют все судьбы нашей Земли в отдельные геологические эпохи нашей планеты. Это пояс чисто земных реакций, и замечательно, что хотя тысячи и тысячи небесных камней, метеоритов, залетают к нам на Землю и тысячи обломков космических тел попадают в руки ученых, но ни один из них не дал нам хотя бы одного кусочка, который напоминал бы этот бурный пояс жизни и смерти нашей планеты. Так слагаются химические представления о глубинах нашей Земли у человечества, физическое существование которого ограничено только маленькой пленкой толщиной в несколько километров. Но в медленной и упорной борьбе человеческого гения раздвигаются рамки познания мира.

Мы твердо убеждены, что как глубины Земли, так и заоблачные высоты будут завоеваны не только отвлеченной мыслью ученого, но и техникой.

Мы видим, как волны наших крупных геофизических установок по нашей воле проникают в глубины Земли и, отражаясь там, приносят нам ответ о строении земных оболочек. Огромные взрывы, произведенные на Урале и на юге нашей страны, открывают совершенно новые страницы в этих представлениях. Целый ряд точных станков, огнеупорные трубы и штанги с насаженными на них резцами из сверхтвердых сплавов, с

алмазными коронками свободно, со сказочной скоростью в сотни метров за смену будут врезаться в твердый гранит, – и мы уверены, что пройдет немного лет, и московские буровые скважины, казавшиеся пределом достижения техники, отойдут в далекое прошлое. Человек завоеует глубины в десятки километров и не только в прекрасных романах, но и в действительной жизни одержит техническую победу над Землей. Нет границ познанию мира, нет границ победам человеческого ума!

## ***История атомов в истории Земли***

Более ста лет тому назад в Берлинском университете известный натуралист Александр Гумбольдт (1769–1859), вернувшись из путешествия по неведомым тогда странам Америки, прочел серию лекций, в которых пытался нарисовать перед слушателями необычайные картины мироздания.

Идеи этих своих лекций он позднее изложил в сочинении, которое назвал «Космос». Слово «космос» взято из греческого языка, оно выражает не только понятие мира, но и понятие порядка и красоты, так как в греческом языке это слово одинаково обозначает и мироздание и красоту человека<sup>[60]</sup>.

В изложении Гумбольдта космос представлялся как совокупность разнородных фактов.

Основываясь на достижениях науки XIX века, он пытался объяснить порядок единством законов природы и хотел в картине настоящего видеть нечто большее, чем один из моментов в сложном процессе развития мира. Но это ему не удалось, мир все же в его представлении разбивался на отдельные царства природы. В каждом из них были свои отдельные представители, между которыми не существовало никакой общей связи.

Старая классификация разбивала весь мир на отдельные клеточки и непроходимыми границами отделяла друг от друга «царства» минералов, растений и животных.

Еще звучали старые взгляды XVII и XVIII веков, еще весь мир казался незыблемым, составленным, по воле бога, из огромного количества независимых «царств», и хотя Александр Гумбольдт как раз хотел показать, что все явления природы связаны между собой, он этого сделать не смог, так как не было фактов, не было тех доказательств, тех единиц, которые можно было бы поставить в основу взаимоотношений окружающей нас природы.

Такими единицами явились атомы, и в наше время картина космоса строится совершенно на другой основе. Неумолимые законы физики и химии управляют сложной и длинной историей странствований

отдельных атомов природы. Мы уже видели, как в центре космических тел отдельные атомные ядра лишены своих электронов, мы видели, как потом постепенно создается сложный клубок элемента с вращающимися вокруг центра электронами-планетами.

Мы видели, как, сплетаясь и обволакиваясь кольцами этих планет, в пустынном мире охлаждающихся звезд рождаются молекулы, то есть химические сочетания. Дальше возникают все более и более сложные постройки; ионы, атомы, молекулы образуют целые кристаллы – эти новые замечательные элементы мира, элементы высшего порядка, математически завершенные и физически прекрасные. Примером может служить прозрачный чистый кристалл кварца, еще древними греками названный кристаллос, то есть окаменевший лед.

Мы видели с вами, как на самой поверхности Земли растут и разрушаются прекрасные постройки кристаллов, как из их обломков создается новая механическая система – мир коллоидов, мельчайших групп атомов и молекул. И в этой среде оказывается устойчивым новый тип сложных и крупных молекул, содержащих углерод, тип, который мы называем живой клеткой.

Новые законы развития живого вещества все больше и больше усложняют судьбы атомов на их историческом пути, создавая сложные сгустки мицеллий – мельчайшие, едва видимые в ультрамикроскопы полуживотные, полурастения, полуколлоиды, которые мы называем вирусами, и, наконец, те первые одноклеточные организмы, которые мы уже хорошо различаем в нашем микроскопе, – бактерии и инфузории.

По этим этапам истории проходят атомы различных элементов окружающего нас мира, и для каждого из них можно построить историю жизни, начиная с момента охлаждения первого земного клубка и кончая их странствованиями в живой клетке.

Когда-то почти так, как рассказывается в сказке, в мировом хаосе возник клубок атомов, которые излучают электромагнитные волны; постепенно падает тепловое движение, как говорят астрономы, и система охлаждается.

Для нас даже неважно, когда, кто первый среди разнообразных астрономов и философов пытался разгадать механику этого процесса. Важно для нас только то, что образуется клубок, где соприкасаются атомы отдельных элементов.

Мы знаем состав этого клубка: блестящие работы геохимиков нашего времени говорят нам о том, что он состоит примерно на 40 % из железа, на 30 % – из кислорода, на 15 % – из атомов кремния, на 10 % – из магния, на 2–3 % – из никеля, кальция, серы и алюминия. Далее следуют элементы, входящие в меньших количествах: натрий, кобальт, хром, калий, фосфор, марганец, углерод и другие.

Из этого списка мы видим, что главные химические элементы, составляющие мироздание, – это все устойчивые, прочные атомы, построенные по тем законам, о четности которых мы уже говорили.

Этот запутанный клубок состоит почти из ста типов атомов, причем одни встречаются в громадных количествах, другие же – только в миллиардных долях процента.

Мало-помалу при дальнейшем охлаждении свободные атомы-газы образуют жидкости, и, сблизившись в виде отдельных расплавленных огненно-жидких капель, они подвергаются всем тем процессам, через которые проходят расплавленные руды в доменной печи.

И разгадку строения нашей планеты неожиданно дали не теоретики, не геофизики, а металлурги, – те люди, которые привыкли выплавлять металл, расправляться со шлаками и которые научились управлять судьбой отдельных атомов в пекле доменной печи. Согласно законам физики и химии, атомы при этом отталкиваются друг от друга, и первоначальный расплав разделяется на отдельные части. Все химические элементы при этом располагаются в определенном порядке. Легкие, подвижные части устремляются кверху, к поверхности, а тяжелые – к центру.

Таким образом накапливается металлическое ядро. Над ним нередко создается оболочка сернистых металлов; наконец, еще выше, как окалина или шлак, отлагается кора кремневых соединений. Геофизики говорят нам, что все отдельные оболочки, или геосферы, из которых состоит наша Земля, как раз и отвечают отдельным зонам, отдельным продуктам плавки большой доменной печи.

В самых глубинах, на глубине примерно до 2900 км, находится железное ядро. Здесь накоплены те металлы, которые и в доменной печи идут вместе с железом; это прежде всего само железо и его ближайшие друзья и аналоги – никель и кобальт.

Здесь же и элементы, которые химики называют сидерофилами, «любящими железо», повторяя почти точно слова алхимиков, над которыми так насмеялись схоласты XVIII века. К сидерофилам принадлежат платина, молибден, тантал, фосфор и сера, которые, несомненно, имеют сходство с железом. Вот как рисуется нам состав самых глубоких частей нашей Земли.

Над ядром, вероятно на глубине 1200–1300 км, идет другая зона; много было споров, как разгадать ее химический состав, но несомненно, что это та зона, которую мы хорошо знаем при выплавке меди или никеля; на заводах цветной металлургии ее называют «штейн». Это сернистые металлы. И недаром огромную зону земной коры в 1700 км нередко называют рудной оболочкой.

Здесь должны накапливаться сернистые соединения меди, цинка, свинца, олова, сурьмы, мышьяка и висмута. Большая их часть, однако,

входит в состав сернистых минералов, которые мы встречаем и в более поверхностных зонах земной коры.

Далее идет сама «окалина», или окисная зона. Она также разделяется на отдельные зоны. В глубинах мы имеем огромные скопления пород, богатых кремнием, магнием и железом. Это зона, о которой мы стали догадываться только после того, как были изучены громадные алмазные трубки Южной Африки, заполненные вынесенными из глубин наиболее плотными и тяжелыми минералами – продуктами кристаллизации глубинных расплавов.

Над ней, примерно с глубины 1200 км, начинается та кремневая окалина (каменная метосфера, или каменная оболочка), на которой протекает наша жизнь. Мы представляем ее себе как довольно сложную систему различных горных пород и минералов, хотя фактически знаем ее только до глубины 20 км.

Ее состав резко отличен от среднего состава Земли и может быть выражен в следующих цифрах: половину занимает кислород, на долю кремния приходится около 25 %, алюминия – 7 %, железа – 4 %, кальция – 3 %, натрия, калия и магния – по 2 %; далее следуют водород, титан, хлор, фтор, марганец, сера и все остальные элементы.

Мы уже видели, что эти цифры установлены тысячами отдельных подсчетов и анализов. На каждом шагу мы убеждаемся, что наша твердая земная кора неоднородна, что распределение атомов необычайно сложно и что очень трудно точно представить себе картину строения земной коры, состоящей то из розового сверкающего гранита, то из тяжелых темных базальтов, то из совсем белых известняков и песчаников или из цветистых сланцев. Мы знаем, что на этой пестрой, запутанной основе в столь же беспорядочном хаосе рассеяны сернистые металлы, соли и полезные ископаемые. Можно ли найти какие-нибудь законы распределения атомов в этой сложной картине или же нет возможности открыть закон строения этого пестрого ковра?

Исследования геохимиков за последние годы показали, что в этом кажущемся мире случайностей существуют свои необычайно четкие и неумолимые законы.

Геохимики не только выделили из огненного жидкого клубка атомов кремневую окалину, земную кору, они разделили ее на отдельные атомы и в строгом порядке изучают поведение каждого из них.

Мы представляем себе расплавленную массу и окалину подобной вылитому из домны шлаку, который начал постепенно остывать. Последовательно, один за другим, стали из него выкристаллизовываться отдельные минералы. Первыми отделились вещества более тяжелые и стали падать на дно; более легкие составные части, газы, летучие вещества стали устремляться кверху. Так, из расплава базальтов опускались вниз минералы, богатые железом и магнием; в них мы встречаем соединения хрома и никеля, находим источники драгоценных

камней алмаза и дорогих платиновых руд; с другой стороны, кверху, в верхнее поле поступали другие вещества, и из них образовывались те породы, которые мы называем гранитами. Они явились как бы последовательными выжимками охлаждающегося массива; именно они образовали основу наших материков, которые как бы плавают на тяжелом базальтовом слое, выстилающем большую часть дна океанов.

Строгие законы физической химии руководили этим новым распределением атомов в мировых пространствах, и в науке зажглась заря новых идей с того момента, как в геохимии стали применять законы физической химии.

Сложно идет охлаждение гранитных очагов: из них выделяются перегретые пары, летучие газы, которые проникают через окружающие породы, образуя горячие водные растворы, хорошо известные нам по минеральным источникам. Как ореолом окружен гранитный очаг этим горячим дыханием; газы и пары с различным содержанием летучих веществ прорываются в трещины и разломы охлаждающихся гранитных пород; текут как бы горячие подземные реки, которые, постепенно охлаждаясь, образуют на стенках кристаллические корки минералов и превращаются на поверхности в холодные источники.

В этом ореоле охлаждающегося гранита мы видим прежде всего остаточные расплавы; это те знаменитые пегматитовые жилы, которые являются носителями тяжелых атомов радиоактивных руд. Они несут с собой драгоценные камни, сверкающие кристаллы берилла и топаза; в них намечаются соединения олова, вольфрама, циркония и редких металлов.

В сложном процессе постепенного расслоения тянутся дальше жилы кварца с оловом, вольфрамитом, еще дальше протягиваются ветвистые кварцевые жилы с золотом, потом начинаются отложения цинка, свинца и серебра, образующие полиметаллические жилы, а далеко от раскаленных очагов, за несколько километров от кипящих глубин гранитных расплавов мы встречаем соединения сурьмы, красные кристаллы сернистой ртути и огненно-желтые или красные соединения мышьяка.

Эти рудные массы распределяются по законам все той же физической химии. Когда же они застывают по длинным расколам Земли, то скопления атомов вытягиваются в длинные кольца или пояса, закономерно следующие один за другим вокруг раскаленных массивов. Перед нами на поверхности Земли раскрываются грандиозные картины этих рудных поясов: одни протягиваются через оба американских материка, начинаясь на севере, где-то в районе Калифорнии; они несут с собой свинец, цинк и серебро. Другие по меридиану прорезают всю Африку. Третьи в виде гирлянд опоясывают устойчивые окаменевшие щиты Азии, создавая пояс, богатый рудами и цветными камнями, прослеженный на много сотен километров.

Непонятная картина, казалось бы, беспорядочно разбросанных точек рудных месторождений превращается таким образом для геохимика в четкую закономерную картину распределения атомов. И крупнейшие практические задачи и достижения решаются на основе этой новой идеи естественных законов распределения атомов в земной коре в зависимости от их свойств и поведения.

На смену старым наблюдениям горняков Средних веков и старого опыта рудокопного дела появляются настоящие законы, о которых так мечтал еще в XVI веке Агрикола, говоря о таинственной любви отдельных металлов друг к другу.

Говорил об этом и профессор минералогии горной Академии во Фрейберге Брейтгаупт, когда он полтора года назад призывал химиков объединиться с металлургами, чтобы отыскать равновесие и причины совместного нахождения руд и ответить на вопросы: почему цинк и свинец встречаются вместе, почему так часто кобальт следует за серебром, почему металлы этих враждебных горному делу гномов – Никеля и Кобальта<sup>[61]</sup> – находятся со странным элементом ураном?

Что же заставляет отдельные атомы так закономерно распределяться в гранитных породах? Здесь на арену выступают новые силы природных процессов; и если там, в глубинах, когда расплавленный клубок делился на ядро, окалину и шлак, основные законы деления обуславливались природой самих атомов, то здесь на смену этим законам пришли новые.

Атомы и их части стали соединяться вместе, не только образуя систему нагроможденных свободных атомов и молекул, которую мы называем жидкостью или стеклом, но и постройки, которых нет в глубинах Земли и которые носятся в мировом пространстве лишь там, где холод межпланетных пространств охлаждает бурно движущиеся атомы ниже 2000°.

Эта замечательная гармоническая постройка, определяющая всю стройность нашего мира, названа кристаллом. Мы говорили уже о том, что 1 см<sup>3</sup> кристалла состоит из триллиона триллионов атомов, которые расположены в определенных точках пространства на определенных расстояниях один от другого, образуя как бы решетки и сетки<sup>[62]</sup>. Из кристаллов и построена вся верхняя пленка земной коры, так же как и подавляющая часть окружающего нас мира.

Кристалл и его законы определяют распространение элементов, которые могут часто заменять друг друга в этих постройках: появляется возможность одним из них странствовать внутри кристалла, другим связываться вместе электрическими силами сказочной мощности, создавая прочность кристалла, его механическую выносливость, его способность бороться против всех враждебных ему сил мироздания.

Там, в глубинах космических тел, беспорядочный хаос атомов; здесь, на Земле, нет больше этого хаоса, есть бесконечный ряд точек и сеток,

расположенных столь же правильно, как клетки паркета на полу, как лампы в большом зале.

Так подошли мы к земной поверхности. Здесь недра Земли перестают влиять на жизнь атомов и уступают свое влияние Солнцу и излучениям космоса; и под влиянием новых видов энергии атом снова начинает свои странствования на земной поверхности согласно законам физической химии и кристаллохимии.

Полвека тому назад в Петербургском университете в своих блестящих лекциях В. В. Докучаев развивал идеи о законах образования почв на земной поверхности. Он говорил, что климат, растения и животные обуславливают образование отдельных почвенных зон, а вместе с тем и различное распределение атомов вещества в почвенном покрове. Таким образом, почвенный покров в его обобщениях воскресал как новый, своеобразный мир атомов.

Докучаев любил повторять: «Почвы – это четвертое царство природы».

Законам этого мира В. В. Докучаев подчинял не только плодородие почвы, но и жизнь человека.

Но именно здесь, на этой тонкой пленке земной поверхности поведение атомов необычайно усложнилось. Простые и ясные схемы спокойного роста кристаллов в глубинах оказались здесь недостаточными.

Сложный географический ландшафт подчинил себе сами атомы, а частные смены климата, времен года, дня и ночи и жизненных процессов – все это стало налагать свои отпечатки и требовать новых форм равновесия и новых условий устойчивости.

В глубинах Земли – спокойствие, спокойный ход пространственного распределения кристаллов; а на поверхности – бурное царство изменчивых, противоречивых влияний, борьба сил, смена температур и господство процессов уничтожения. Здесь вместо наших точных кристаллических построек приобретают преобладающее значение их обломки как новая динамическая система. Эти обломки мы называем коллоидами.

Возникает противоречие между миром порядка в глубинах и хаотическим миром студнеобразных коллоидов на поверхности. В быстро меняющейся обстановке окружающей нас природы химические реакции не могут идти так спокойно и планомерно, как в глубинах. Только что начатая постройка кристалла вдруг распадается, заменяется новой. Иногда обломки кристаллов сливаются вместе, и из этих крупных частиц, построенных иногда из сотен и тысяч атомов, вырастает новая форма вещества, неустойчивая система коллоида, того студня и клея, который мы так хорошо знаем в органическом мире.

Но не только эта сила разрушения характеризует систему минералов земной поверхности, в ней заложены громадные активные силы, в ней

содержится большая энергия, чем в мертвой, устойчивой системе кристаллов.

В окружающих нас глинах, различного рода бурых железных, марганцевых потеках, во всем многообразии различных атомных сочетаний железа, алюминия, марганца, в шарах и стяжениях фосфорных соединений – всюду вступают в действие новые силы, вызванные соприкосновением различных сред между собой, всюду проявляются эти новые силы хаоса, где наравне с гибелью идет постройка, где возникают новые закономерности, которые определяют природу почв, облегчая странствования отдельных металлов, вызывая их взаимный обмен в почвенном покрове.

Так постепенно подходим мы к последнему этапу истории атома – к процессам жизни. Коллоид уже подготовил почву для создания новой системы: в нем, в этом сложном сцеплении целеустремленных молекул, с заложенными в них громадными поверхностными силами, создаются зародыши нового вещества. Это живая клетка.

Здесь, в своеобразной и гибкой постройке, где атомы то связаны, то свободны, родилась жизнь как естественное развитие, как логическое завершение все усложнявшейся системы атомов. Эта жизнь, проходя по сложным путям эволюции, лишь продолжала те картины, которые мы нарисовали выше. Подчиняясь новой форме группировки, она начала усложнять атомную постройку и сделалась господствующим явлением на земной поверхности, начиная с мельчайшего одноклеточного организма и кончая человеком.

Мы ничего не можем вычеркнуть из окружающей нас обстановки. Жизнь вместе с мертвой природой, воздухом и водой слилась в единое целое, создала окружающие нас многочисленные географические ландшафты. Это высшая форма системы атомов, сложившаяся в результате законов эволюции и развития организма. Появился мыслящий человек, сумевший познать те могущественные законы, которые заложены в основу этой новой, еще более неустойчивой, но и еще более могучей, активной системы.



Размытые осадочные породы причудливых форм. Новая Зеландия

Так по истории странствования атома мы видим, как постепенно усложнялась его судьба.

Вначале это был электрически заряженный свободный протон, далее образовались ядра атомов.

Потом началось усложнение, и, по мере перехода к более холодной системе космоса, к атому вернулась его электронная оболочка. Постепенно в закономерной и жесткой геометрической форме сливались эти атомы в то, что мы назвали химическим соединением.

Кристалл был формой выражения этих законов, формой наибольшего порядка, наибольшей гармонии, наименьших запасов энергии и потому наиболее мертвой формой вещества, лишенной свободной силы. Но тут же началось осложнение, родилась коллоидальная система атомов, молекул.

Создалась живая клетка; сложные молекулы стали строиться из сотен и тысяч отдельных атомов; и как высшая форма еще не разгаданной химической системы появились белковые вещества, создавшие все многообразие, всю сложность и загадочность окружающего нас органического мира.

Но в истории нашей природы атом всегда мечется в поисках новых форм. Мы не можем еще сказать, нет ли новых, других форм равновесия, более устойчивых, чем кристалл, или более активно заряженных энергией, чем живое вещество. Все наши представления об окружающей нас природе наталкиваются на недостаточность наших знаний новых путей атома, и никто не решится сказать, что мы уже постигли все пути его странствований и что человек уже овладел теми могучими силами, которые он мог бы развязать в атомном клубке<sup>[63]</sup>.

## ***Атомы в воздушной стихии***

Что такое воздух? Как мало мы себе представляем воздух, как мало мы даже интересуемся этим вопросом! Мы привыкли, что воздух нас окружает, и, как здоровье, начинаем ценить его только тогда, когда теряем его, когда попадаем в условия, где воздуха не хватает.

Мы знаем, как трудно дышится на больших высотах, как у некоторых уже на высоте трех километров появляется горная болезнь, начинается слабость; мы знаем, как страдают летчики, когда они поднимаются на самолетах выше пяти километров; на высоте восьми и десяти километров воздуха уже определенно не хватает и приходится прибегать к помощи имеющихся на самолете запасов кислорода.

Мы знаем, как тяжело опускаться в глубины рудников, как долго звенит в ушах, пока на глубине 1500 м вы освоитесь с новым давлением воздуха.

Воздух сейчас представляет одну из интереснейших проблем не только для науки, но и для химической промышленности.

Долгое время человек никак не мог понять, что такое воздух. В течение нескольких веков в первобытной химии господствовало убеждение, что воздух состоит из особого газа – флогистона и что когда какое-либо вещество горит, то из него выделяется флогистон и заполняет, как особая тонкая материя, весь мир.

Потом, благодаря гениальному открытию французского химика Лавуазье, сделалось ясно, что воздух состоит в основном из двух веществ – одного живительного, которое было названо кислородом, и другого, равнодушного к жизни, получившего поэтому имя «азот» (по-гречески – безжизненный).

В 1894 году было обнаружено, что состав воздуха гораздо сложнее, что кроме кислорода и азота, этого безжизненного газа, он содержит в себе целый ряд других химических элементов, которые играют в нем большую роль.

И современные химики определяют состав воздуха по весу в следующем виде:

По весу:		По весу:	
Азота . . . . .	75,7 %	Неона . . . . .	0,00125 %
Кислорода . . . .	23,01 %	Гелия . . . . .	0,00007 %
Аргона . . . . .	1,28 %	Криптона . . . . .	0,0003 %
Углекислоты	0,03 %	Ксенона . . . . .	0,00004 %
Водорода . . . .	0,03 %	Паров воды —	изменчивое число

Но этот состав характерен только для нижних слоев атмосферы. Выше 20 км количество газов начинает изменяться: количество тяжелых газов уменьшается, легких – увеличивается. Постепенно растет содержание водорода, гелия, а где-то высоко, там, где сверкают метеоры, где рассеянные частицы создают северное сияние, там, по-видимому, преобладают легкие газы.

Сейчас мы настолько точно знаем состав воздушного океана, что каждая капелька, рассеянная в кубическом метре его, не ускользает от внимания наших химиков.

И вот оказывается, что окружающий нас газовый океан не только основа всей нашей жизни, но и основа новой, грандиозной промышленности.

Англичане за последние годы подсчитали, что все население Англии и Шотландии за сутки поглощает до 20 млн м<sup>3</sup> кислорода из воздуха, а специальные установки за этот же срок извлекают до 1 млн м<sup>3</sup> этого газа для нужд промышленности.

Одновременно с этим промышленность сжигает уголь и нефть, потребляя кислород, и возвращает в атмосферу грандиозное количество углекислоты. Тот же процесс происходит и в живых организмах. Например, человек каждый день выделяет около трех литров углекислоты.

Чтобы понять значение этой цифры, достаточно указать, что большое дерево эвкалипт в течение одного дня может разложить углекислоту и вернуть свободный кислород атмосфере примерно в количестве одной трети количества углекислоты, выдыхаемой человеком. Следовательно, три крупных эвкалипта разложат столько углекислоты, сколько выделит один человек, и таким образом восстановят равновесие состава атмосферы.

Из этого мы видим, как велико значение той растительности, которая окружает нас и которую мы так бережно храним и насаждаем в наших городах. Жизнь растений является единственным источником восстановления кислорода, поглощаемого человеком. А между тем кислород начинает использоваться все в больших и больших количествах.

В 1885 году маленькие заводы по изготовлению перекиси бария впервые положили начало промышленному использованию кислорода воздуха.

Сейчас кислород воздуха служит основой для целого ряда химических производств; в металлургии вместо воздуха в доменные печи вдувается чистый кислород; в ряде химических производств кислород является незаменимым окислителем.

С каждым годом растут все новые и новые установки, которые через жидкий воздух извлекают кислород из окружающей нас атмосферы.

Наравне с кислородом все шире и шире начинают использоваться человек и другие газы.

Еще недавно аргон, входящий в состав воздуха в количестве 1 %, не играл никакой роли в промышленности. Сейчас при помощи сложных установок из воздуха извлекают ежегодно около одного миллиона кубических метров этого редчайшего газа.

Многие из нас не знают, что каждый год этим газом наполняют свыше одного миллиарда электрических лампочек.

В светящихся рекламных больших городов в специальных лампочках с каждым годом все шире и шире используется и другой благородный газ воздуха – неон. Его очень мало в воздушном океане – одна часть приходится на 55 тысяч частей воздуха. Но все же неоновая промышленность разворачивается и растет с каждым годом.

Начинают извлекать из воздуха и гелий. Его еще меньше, чем неона, хотя в атмосфере над каждым квадратным километром Земли содержится около 20 т этого ценнейшего газа Солнца. Гелий извлекается из воздуха и главным образом из подземных газовых струй и используется для наполнения дирижаблей; в холодильной технике с его помощью получают самые низкие температуры в мире.

В нашу промышленность начинают входить даже самые редкие газы, как криптон и ксенон.

Криптона в воздухе меньше одной тысячной процента. А между тем как важно было бы получать его в больших количествах, ибо тогда на 10 %, а при применении ксенона на 20 %, повысилась бы яркость наших электролампочек. А это значит, что на 20 % понизилось бы потребление электроэнергии нашими осветительными установками<sup>[64]</sup>.

Но, конечно, самым важным сырьем для промышленности, извлекаемым из воздуха, является азот.

В 1830 году впервые была сделана попытка использовать азотные соединения для удобрения полей.

Об азоте воздуха тогда никто не думал, и даже прибывавшая на судах из Чили селитра не всегда находила себе применение на бедных полях Западной Европы. Но постепенно развивавшаяся химизация сельского хозяйства требовала все больших и больших количеств тех трех

живительных веществ, на которых строится химическая жизнь растения, – азота, фосфора и калия. Потребность в азоте стала так повышаться, что физик и химик Крукс в 1898 году предсказывал азотный голод и предлагал искать новые методы для извлечения азота из воздуха.

Прошло немного лет. При помощи электрических разрядов химики научились превращать азот воздуха в аммиак, азотную кислоту и цианамид.

Во время Первой мировой войны азот, нужный для производства взрывчатых веществ, сделался предметом многочисленных исследований. Сейчас во всем мире работает свыше 150 азотных заводов; они ежегодно извлекают из воздуха 4 миллиона тонн азота. Но и эта цифра оказывается ничтожной по сравнению с громадным запасом этого газа, составляющим примерно 81 % всего объема воздушной стихии.

Достаточно сказать, что все азотные установки мира каждый год извлекают примерно такое количество азота, которое содержится в столбе атмосферы над половиной квадратного километра земной поверхности. Так рисуются перед нами новые промышленные пути использования воздуха. Промышленность начинает все больше и больше использовать все составные части воздушного океана. Атмосфера превращается в грандиозный источник минерального сырья, запасы которого практически неисчерпаемы. Однако пока пути овладения этими запасами еще далеко не найдены.

Процессы, при помощи которых человек разделяет воздух на составные части, еще довольно несовершенны. Для извлечения азота требуются и большие давления, и громадное количество энергии. Для разделения благородных газов и получения кислорода надо прибегать к сложным, дорогим установкам, переводить воздух сначала в жидкое состояние, чтобы затем выделить отдельные газы. И вот на этом пути у нас в Советском Союзе сделаны блестящие открытия.

В Институте физических проблем Академии наук СССР построены новые, замечательные машины, которые позволяют очень тщательно разделять громадные количества воздуха на составные части.

А нам рисуются уже маленькие машинки, установленные в каждой комнате. Включим электрический ток – закружится труботандер; откроем кран, на котором будет стоять надпись: «Кислород», – и вместо воздуха из него потечет синеватая жидкость, охлажденная до минус 200°.

Откроем другой кран – из него по капелькам будет вытекать жидкий благородный газ криптон или ксенон, а где-то на дне, как зола в печках, будет накапливаться твердая угольная кислота, которая затем будет поступать под особый пресс и давать нам тот твердый сухой лед,

который вы все видели у наших продавцов мороженого и который будет охлаждать наши помещения в жаркие дни.

Может быть, в этой картине я немного забежал вперед. Еще нет таких портативных машинок, которые можно было бы приключить к нашему штепселю, но я уверен, что недалеко то время, когда мы сможем использовать окружающие нас богатства воздуха для наших нужд, и грандиозная химическая промышленность будет построена на неисчислимых запасах азота и кислорода – двух элементов, выдающихся по своему значению в жизни Земли.

Я мог бы сейчас закончить мой рассказ, но думаю, что он еще далеко не полон.

Я ничего не сказал об использовании угольной кислоты воздуха и о возможности использования всех газов, образующихся при сгорании угля, дров, обжига известняков.

Ученые уже подсчитывают те грандиозные количества угольной кислоты, которые выбрасываются в воздух промышленностью как отходы. Они предполагают использовать ее для изготовления сухого льда, они хотят извлечь из нашей атмосферы те три сотых процента угольной кислоты, которые в ней содержатся.

А физики идут еще гораздо дальше: они говорят, что наш воздух состоит не только из десяти газов, о которых мы выше говорили, воздух содержит огромное количество газов еще более редких, еще более рассеянных в миллионных, в миллиардных долях процента, – газов радиоактивных.

Речь идет об эманации радия и о различных летучих газах, продуктах распада легких металлов. Эти газы живут недолго в нашей атмосфере: жизнь одних измеряется днями, других – секундами, третьих – миллионными долями секунды. Воздух насыщен этими продуктами распада мировых атомных ядер. Космические лучи вызывают на каждом шагу разрушение атомов и появление неустойчивых газов, которые должны снова исчезнуть и перейти в более устойчивые формы твердого вещества.

В воздушном океане непрерывно происходят химические реакции. Сложнейшие процессы происходят между рассеянными атомами вещества, и еще мало понятны нам те постоянные и сложные перемещения, те электрические разряды, которые идут в этом воздушном океане вокруг нас.

Разгадать их – значит сделать еще один шаг по пути подчинения природы нашим потребностям.

## ***Атомы в воде***

Воды источников рек, морей, океанов и подземные пластовые воды все вместе образуют неразрывную водную оболочку Земли, или гидросферу. Над огромными просторами океанов непрерывно происходит испарение воды под влиянием тепла Солнца.

В атмосфере вода конденсируется и падает на землю в виде дождя, снега и града. Она размывает почвы, выщелачивает их, разрушает породы, растворяет массу разнообразных веществ и сносит все это опять в моря и океаны.

Таким образом, вода много миллионов раз совершает свой круговорот: океан → атмосфера → земля → океан. И каждый раз она извлекает из твердых пород Земли все новые и новые количества растворяющихся в воде веществ.

Подсчитано, что ежегодно все реки мира сносят с поверхности Земли в океан около трех миллиардов тонн растворенных ими веществ.

Иначе говоря, воды разрушают и сносят со всей Земли за 25 тысяч лет слой пород толщиной около одного метра.

Работа, совершаемая водой на Земле, грандиозна.

Вода, химическая формула которой  $H_2O$ , – одно из самых распространенных веществ на Земле.

Объем воды Мирового океана составляет 1,37 миллиарда кубических километров!

Значение воды в истории Земли, а следовательно, и в геохимии огромно.

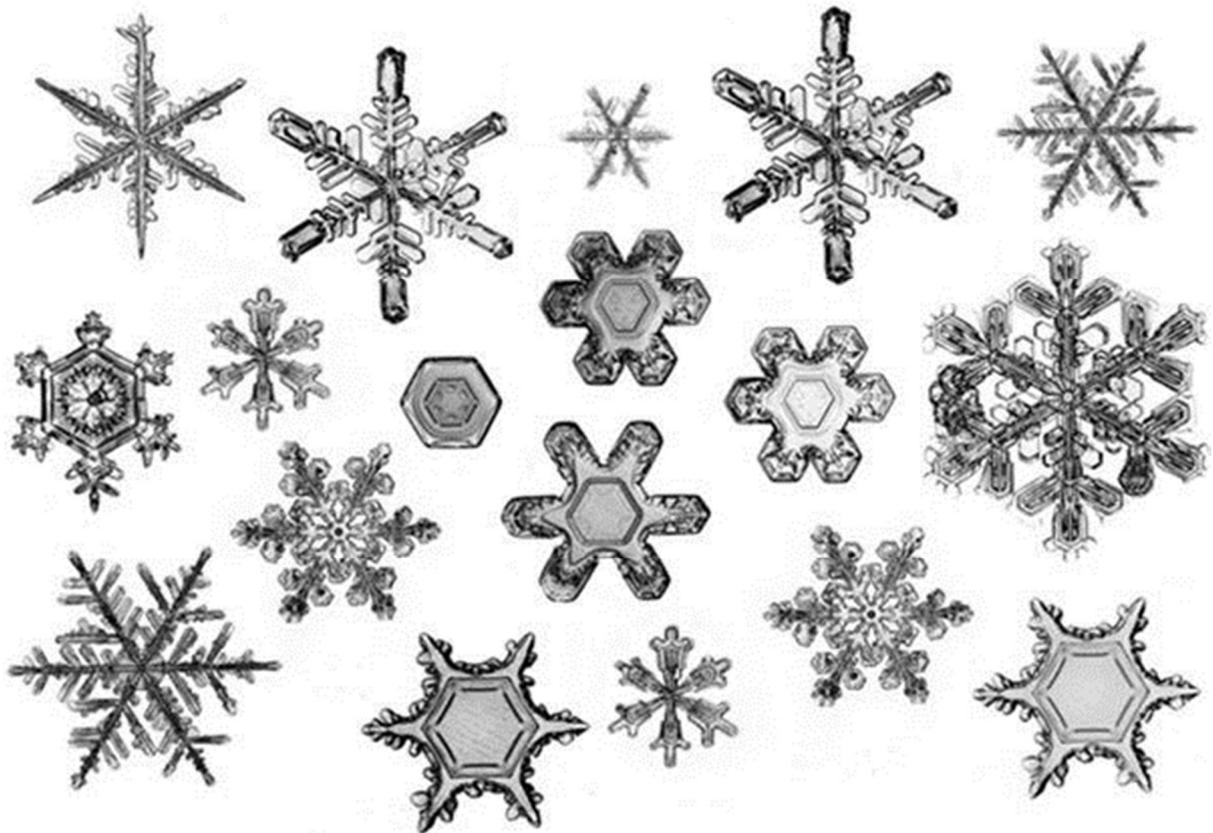
Вот почему в свое время в геологических науках существовала гипотеза о происхождении всех горных пород на Земле из водной среды.

Сторонники этой гипотезы – нептунисты, названные по имени мифологического бога морей Нептуна, – спорили с плутонистами, доказывавшими, в свою очередь, происхождение всех пород на Земле из расплавленных масс, излившихся на поверхность из глубин подземного царства бога Плутона.

Сейчас мы знаем, что обе эти силы – вода и вулканы – участвовали в образовании пород Земли.

В природе практически нет воды, которая не содержала бы каких-то примесей или растворенных в ней веществ или солей.

В природе, иными словами, нет дистиллированной воды. Даже дождевая вода содержит углекислоту, следы азотной кислоты, йода, хлора и других соединений.



Кристаллы снега

Получить химически чистую воду очень трудно, если не сказать – невозможно. Газы воздуха, стенки сосуда, в котором находится вода, хотя и в малых количествах, но растворяются в воде.

Например, миллиардные доли серебра переходят в раствор воды, содержащейся в серебряном сосуде. Серебро чайной ложки в ничтожном количестве переходит в воду. Химик почти не может заметить этих следов. Но некоторые низшие организмы, например водоросли, настолько чувствительны к следам серебра и к некоторым другим атомам в воде, что погибают от них.

Природная вода, протекая по чрезвычайно разнообразным породам Земли: пескам, глинам, известнякам, гранитам и так далее, извлекает, конечно, из них разнообразные соединения. Некоторые ученые говорили, что если знать, по какому ложу течет река, – можно сказать, какого состава будет ее вода.

Но, несмотря на то, что в природе, как мы уже знаем, широко распространены алюмосиликаты, воды, как правило, не содержат больших количеств алюминия и кремния. Если эти металлы и присутствуют, то главным образом в виде мути, в виде механической взвеси. С другой стороны, все воды рек и морей всегда содержат щелочи – натрий, калий, а также магний, кальций и другие элементы. В чем же дело?

Оказывается, что химический состав растворенных в водах солей чрезвычайно зависит от степени растворимости тех или иных солей в воде. Наиболее растворимые соединения являются самыми обычными составными частями природных вод. Как мы уже говорили, главную массу солевого остатка природной воды постоянно составляют атомы натрия, калия, кальция, магния, хлора, брома и некоторых других элементов.

Насыщенные солями воды – рассолы – опять-таки содержат именно эти хорошо растворимые соединения атомов, вымытых из пород.

Океан, таким образом, является вместилищем растворимых солей, которые накопились в нем за все время существования Земли, в результате непрерывной циркуляции воды между материком и океаном.



Ниагарский водопад. США

Ученые пытались по количеству растворенных солей в океане подсчитать, какие их количества ежегодно выносят реки. На этом основании они вычисляли возраст океана, или то число лет, которое было необходимо, чтобы вода океана приобрела наблюдаемую сейчас концентрацию солей. Цифры, однако, получились не очень достоверные.

Итак, хорошо растворимые соединения атомов составляют основу солевой части природных вод. Вода океана содержит 3,5 % солей, из

которых более 80 % хлористого натрия – всем нам известной поваренной соли. Каждый знает, как она легко растворяется. Все другие растворимые соединения находятся в воде лишь в очень малых количествах. В любой природной воде моря, реки, подземного источника – все химические элементы могут быть обнаружены. Весь вопрос в совершенстве наших методов исследования.

Если вспомнить, что имеется всего около сотни химических элементов, то легко представить себе, какие разнообразные по своему составу воды могут встретиться в природе. И действительно, ученые установили существование многочисленных классов вод.

Воды океана в любом месте – на поверхности и в глубине (но вдали от берегов) – исключительно постоянны по своему составу.

Содержание в них всех химических элементов строго повторяется количественно. Менее постоянен, но очень схож между собой состав речных вод. То, что реки текут в разных породах, в разных климатических условиях, накладывает отпечаток на их состав. Так, реки северных широт содержат больше железа, гумуса, часто они даже окрашены ими. Реки средних широт содержат главным образом натрий, калий, сульфаты, хлор. В более теплых широтах, особенно в областях, лишенных стока вод в моря или океаны, вода рек и, более часто, озер бывает засолена.

Подобная же смена состава вод по зонам наблюдается и по вертикали – для подземных пластовых вод. Чем глубже лежат эти воды, тем они больше приближаются к рассолам. Наиболее разнообразны по составу именно минеральные подземные воды, образующие нередко при выходе на поверхность минеральные источники, часто целебные.

Тут мы можем встретить воды кальциевые, йодо-бромные, радиевые, литиевые, железистые, серные, магниевые-борные и другие. Сами названия подсказывают, какое химическое соединение или химический элемент является основной составной частью их растворенного остатка.

Происхождение этих минеральных вод связано с растворением минеральных отложений подземными водами, с процессом выщелачивания горных пород разного состава.

Занимательная и вместе с тем очень важная научная задача – по химическому составу этих вод разгадать весь процесс образования вод. Над нею работают геохимики и гидрохимики.

Приведем таблицу состава морской воды (в процентах):

Кислород . . . . .	86,82	Калий . . . . .	0,04
Водород . . . . .	10,72	Бром . . . . .	0,006
Хлор . . . . .	1,89	Углерод . . . . .	0,002
Натрий . . . . .	1,056	Стронций . . . . .	0,001
Магний . . . . .	0,14	Бор . . . . .	0,0004
Сера . . . . .	0,088	Алюминий . . . . .	0,0000011
Кальций . . . . .	0,04	Свинец . . . . .	0,0000005
Марганец . . . . .	0,0000004	Цинк . . . . .	0,000005
Селен . . . . .	0,0000004	Барий . . . . .	0,000005
Никель . . . . .	0,0000003	Железо . . . . .	0,000005
Олово . . . . .	0,0000003	Медь . . . . .	0,000002
Цезий . . . . .	0,0000002	Мышьяк . . . . .	0,0000015
Уран . . . . .	0,0000002	Ванадий . . . . .	0,00000005
Кобальт . . . . .	0,0000001	Галлий . . . . .	0,00000005
Молибден . . . . .	0,0000001	Торий . . . . .	0,00000004
Титан . . . . .	0,0000001	Церий . . . . .	0,00000003
Германий . . . . .	0,0000001	Иттрий . . . . .	0,00000003
Фтор . . . . .	0,0001	Лантан . . . . .	0,00000003
Кремний . . . . .	0,00005	Висмут . . . . .	0,00000002
Рубидий . . . . .	0,00002	Скандий . . . . .	0,000000004
Литий . . . . .	0,000015	Ртуть . . . . .	0,000000003
Азот . . . . .	0,00001	Серебро . . . . .	0,000000004
Йод . . . . .	0,000005	Золото . . . . .	0,0000000004
Фосфор . . . . .	0,000005	Радий . . . . .	0,00000000000001

Однако в абсолютных цифрах это не так мало, золота, например, в морской воде находится миллионы тонн.

Ученые много раз пытались построить такую физико-химическую фабрику, которая сделала бы выгодной добычу золота из морской воды. Но до сих пор это еще не осуществлено.

Для морской воды характерна концентрация брома, йода и, конечно, хлора – очень важных для человека химических элементов.

Йод из морской воды поглощается водорослями и морскими организмами. Из водорослей и добывает человек основную массу промышленного йода.

Когда водоросли гибнут, содержащийся в них йод переходит в ил морского дна. Из ила моря постепенно образуются породы. Воды из них выжимаются, и образуются пластовые воды. В эти пластовые воды переходит и йод. При бурении на нефть часто вскрывают пластовые воды. Они богаты йодом и бромом.

В настоящее время из них научились получать эти элементы. Морская вода является неограниченным резервуаром брома, который в настоящее время в ряде мест уже начали добывать непосредственно из морской воды (как и магний).

Особенно интересна история атомов кальция в природных водах.

Природные воды часто бывают пересыщены ионами кальция, и тогда последний в виде карбоната кальция выпадает на дно, образуя известняки или мел.

В истории кальция большую роль играет углекислота. Избыток ее приводит к растворению, недостаток – к выпадению карбоната кальция из растворов. И если мы вспомним, что углекислоту поглощают зеленые растения, то станет ясна их роль в осаждении кальция из воды. Действительно, огромные острова в теплом море – атоллы – сплошь сложены из карбоната кальция, отложенного в результате жизнедеятельности морских растений, а также из известковых скелетов морских животных.

Этим примером мы хотели показать, что на состав природных вод оказывает значительное влияние и живое население водоема.

Без ознакомления с влиянием «живого вещества» на состав вод водоемов нельзя полно представить себе все процессы, которые привели к современному составу воды рек, озер, морей и океанов.

## ***Атомы на поверхности Земли. От Арктики до субтропиков***

Еще мальчиком я совершил путешествие из Москвы на юг Греции, и среди детских воспоминаний осталась на всю жизнь передо мной картина смены окрасок, которая разворачивалась по мере того, как мы подвигались к югу.

Я помню ясный день в Москве, серую однотонную землю, серо-красные, бурые глины серозема Центральной России. Мне помнится затем более пестрая картина черноземной окраски окрестностей Одессы, освещенных яркими лучами весеннего южного солнца. Вспоминаю, как изменились эти краски, когда мы вошли в Босфор: синева воды, каштаново-бурые почвы, возделанные под виноградники. И, наконец, я как сейчас вижу пейзаж Южной Греции: темно-зеленые кипарисы, красные почвы и красные потеки окислов железа среди белоснежных известняков. Я помню, как резко врезалась в мое воображение эта картина смены цветов и как настойчиво просил я отца объяснить мне, почему же так меняются краски. Лишь через много лет я понял, что передо мной прошел один из величайших законов земной поверхности, закон тех окислительных химических процессов, которые так по-разному протекают на различных широтах Земли.

С тех пор мне пришлось очень много путешествовать по Советскому Союзу, начиная от сплошных лесов тайги, равнин, тундр и полярных океанов, вплоть до снежных высот «крыши мира» – Памира. И каждый раз передо мною снова, но в гораздо большем масштабе вставала картина этих разнообразных химических реакций и разной судьбы атомов на поверхности Земли от самой глубокой Арктики до знойных субтропиков.

Посмотрим на эту маленькую карту и отправимся по нанесенной на ней стреле в путешествие от островов Шпицберген до острова Цейлона в Индийском океане.

Вокруг старого архипелага Свальбард, в который входят острова Шпицберген, сплошные льды. Мертвая ледяная пустыня. Никаких химических реакций, породы не разрушаются в глины или пески, действие морозов распространяется вглубь, образуются грандиозные осыпи. Только изредка на птичьих базарах скапливаются остатки органической жизни, и потеки фосфатов являются почти единственными минералами среди сплошного льда. Столь же медленно протекают химические реакции южнее, в нашем Кольском или Уральском Заполярье. Как свежи все породы на Кольском полуострове! Вы можете в холодное утро в бинокль наблюдать породы за десятки километров так, как будто вы рассматриваете их в музее. Тоненькие пленки бурых окислов железа видны на огромных пространствах. Лишь в низинах накапливаются торфяники, медленно сгорает органическое вещество растений, превращаясь в бурые гуминовые кислоты, и весенние воды уносят их вместе с другими растворимыми солями, окрашивая пласты студнеобразных масс торфяников и сапропелей на озерах и болотах.

Южнее, в окрестностях Москвы, можно наблюдать другие химические реакции. Тут тоже медленно протекает сгорание органического вещества, те же бурные весенние воды растворяют железо и алюминий, белые и серые пески окружают окрестности Москвы, синие прослойки фосфатов яркими пятнами выделяются на пространстве огромных торфяников.

Далее к югу постепенно меняются краски, изменяется ход химических реакций, атомы попадают в новую обстановку. Мы видим, как черноземы Среднего Поволжья сменяют серые глинистые почвы Подмосковья. Мы видим, как постепенно яркое солнце видоизменяет поверхность Земли, вызывая все более бурные, все более энергичные химические процессы.

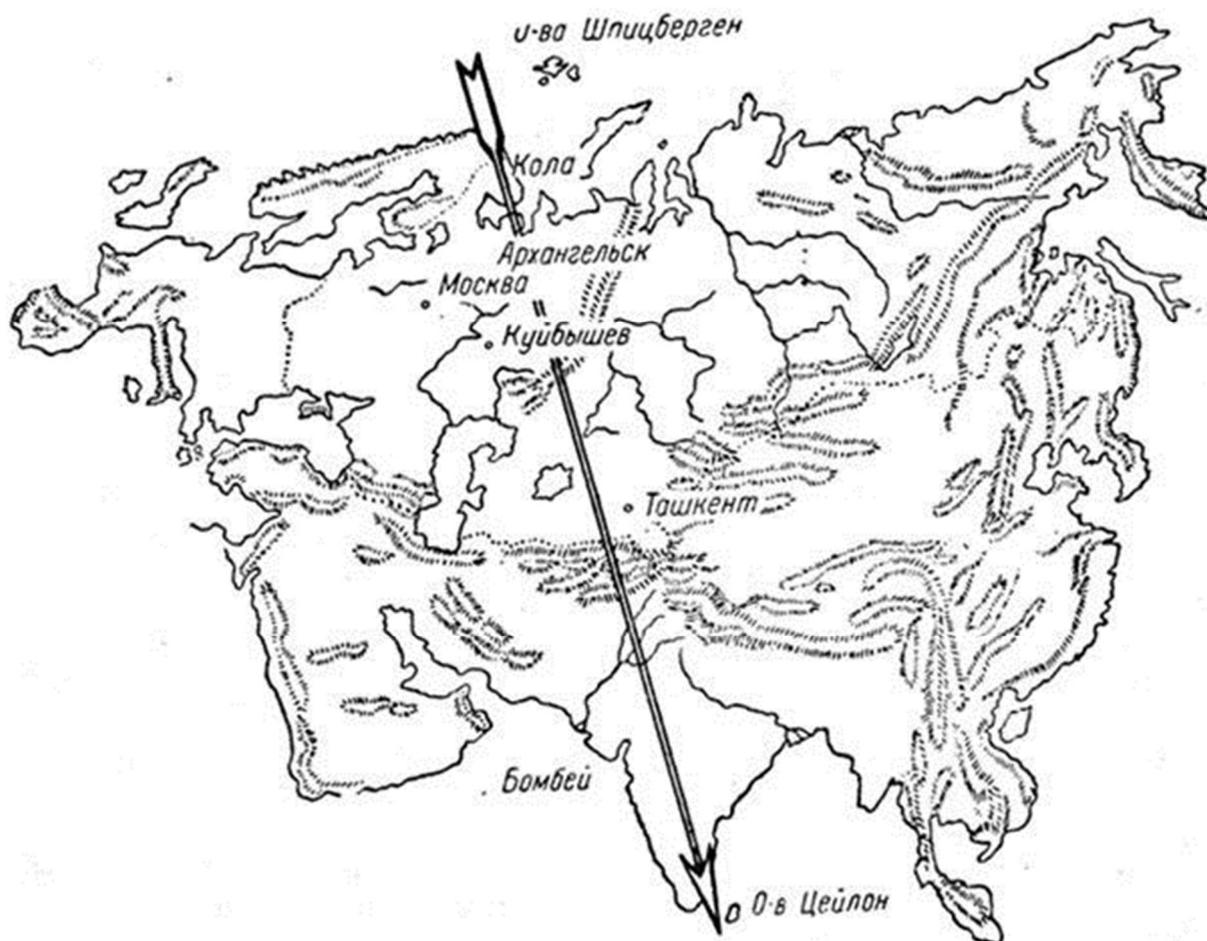


Схема нашего путешествия

Уже в Заволжье мы встречаемся с новыми природными реакциями: мы попадаем в огромный соляной пояс, который тянется от границ Румынии через Молдавию, по склонам Северного Кавказа, через всю Среднюю Азию и заканчивается на берегах Тихого океана. Накапливаются различные соли хлора, брома и йода. Кальций, натрий и калий являются металлами этих солей в лиманах и в умирающих озерах, десятки тысяч которых разбросаны на территории этого пояса. Здесь идет сложный процесс образования осадков. Еще южнее мы попадаем в область пустынь. Тут новая картина встает перед нашими глазами: огромные солончаки белыми полями пестрят среди зеленых пятен степной растительности, пересекаемых шоколадно-красными водами Амударьи. Яркие краски говорят нам о новых химических реакциях, атомы перемещаются и приобретают в песках новые химические равновесия. Одни накапливаются в виде песков, образующих пустыни, другие растворяются, переносятся ветрами и бурным тропическим дождем и оседают в солончаках и шорах среди пустынь.

Но еще более яркие краски мы видим в предгорьях Тянь-Шаня. Здесь бурные химические реакции встречаются на каждом шагу, и пути странствования атома на поверхности Земли очень сложны. Я не могу

забыть моих впечатлений от тех ярких и пестрых цветов, которые бросились мне в глаза, когда я посетил впервые одно замечательное месторождение. В моей книжке о цветах камней я описал эту картину в следующих словах:

«Ярко-синие и зеленые пленки медных соединений покрывали обломки пород, то сгущаясь в оливково-зеленые бархатистые корочки ванадиевых минералов, то сплетаясь лазоревыми и голубыми тонами водных силикатов меди.

Пестрой гаммой тонов лежали перед нами многочисленные соединения железа – гидраты его окиси: то желтые, золотистые охры, то ярко-красные маловодные гидраты, то буро-черные сочетания железа и марганца; даже горный хрусталь приобретает здесь ярко-красные цвета „кампостельского рубина“ прозрачный барит делается желтым, бурым, красным „рудным баритом“; на розовых глинистых осадках пещер выкристаллизовываются красные иголки алаита – свободной ванадиевой кислоты, а на белых костях человеческого скелета – яркие зелено-желтые листочки вновь образовавшегося минерала...»

Картина пестрых, ярких тонов незабываема, и геохимик с вниманием присматривается к ней, стараясь разгадать ее. Он видит прежде всего, что все соединения находятся в сильно окисленном виде, и самые высокие степени окисления марганца, железа, ванадия и меди характеризуют эти минералы; он знает, что этим они обязаны южному солнцу, ионизированному воздуху с его кислородом и озоном, разрядам электричества в часы тропических гроз, когда идет превращение азота в азотную кислоту.



Ландшафт Арктики

Но стрела уносит нас еще дальше за границы песков. Поднимаясь на высоту в 4 тысячи метров, вы снова попадаете в пустыню, но пустыню льда: вы здесь не видите ярких красок, ни странствований атомов, которые только что наблюдали в низинах Средней Азии. Перед вами почти такая же картина, как на Новой Земле или Шпицбергене. Всюду грандиозные осыпи механических осадков, свежие горные породы почти не знают химических реакций, и только кое-где среди снегов и льдов выцветы одиноких солей и скопления селитры.

Эта картина напоминает арктические пустыни; и лишь редкие грозы с сильными молниями говорят о жизни и образуют в воздухе разряды электричества, создают частицы азотной кислоты, оседающей в виде селитры в высокогорных пустынях Памира и в еще более грандиозных количествах в пустыне Атакама в Чили.

Но протянем нашу стрелу дальше, через высоты Гималаев, и мы снова увидим яркие краски южных субтропиков. Непрерывные теплые дожди сменяются тропическим сухим летом, и сложнейшие химические реакции происходят на поверхности Земли, перенося растворимые соли, накапливая громадные толщи красных осадков, руд алюминия, марганца и железа.

Дальше показываются кроваво-красные латеритные почвы Бенгалии. Иногда в диких смерчах поднимаются они вверх.

Вот шоколадно-красные тона почв тропической Индии; сверкают накаленные солнцем обломки пород, покрытые как бы полуметаллическим лаком, и только изредка видны залежания «ванн» белой и розовой соли, перемежая эту картину красных почв индийских субтропиков.

Еще живее и шире раскрывается картина странствования атомов на юге Индии, там, где изумрудно-зеленые воды Индийского океана омывают красные берега, а вулканические извержения базальта приносят из глубин свое дыхание.

Сложные химические образования на каждом шагу разнообразят картину морского дна, начиная с мелководного побережья с его раковинами, мшанками и кораллами, кончая глубинами с коралловыми рифами и грандиозными скоплениями коралловых известняков.

В глубинах, в иле, там, где накапливаются остатки скелетов живых организмов, образуются фосфорные соли в виде желваков фосфоритов.

Радиолярии с их панцирями из кремнезема, принесенного реками, строят свои ажурные раковинки, а фораминиферы, строя свои скелеты, поглощают барий и кальций. Так быстро сменяются атомы от Арктики до субтропиков, и так грандиозны процессы странствования отдельных элементов на поверхности Земли.

Что обуславливает это различие в ландшафтах Дальнего Севера и тропического Юга? Мы знаем сейчас, что оно вызвано действием солнечных лучей, выгоранием, обилием влаги и высокими температурами земли. Оно вызвано бурно развивающейся органической жизнью, требующей огромного количества различных атомов. Мощные скопления остатков живой клетки на горячем южном солнце разлагаются в углекислоту, которая насыщает воду своими кислыми растворами.

Скорость химических реакций повышается на юге во много раз, ибо мы, геохимики, хорошо знаем одно из основных правил химической науки, что в большинстве случаев увеличение температуры на каждые 10 градусов повышает вдвое скорость обычных химических реакций.

И нам становятся понятными и неподвижность атомов в арктической пустыне, и сложные пути их странствования в субтропиках и пустынях юга. Мы видим, что можно говорить о *химической географии*, что мир природы с ее разнообразием материков и стран связан прочными нитями с теми химическими процессами, которые идут вокруг.

Среди факторов, определяющих ход геохимических процессов, все большее значение приобретает сам человек. Его интенсивная деятельность за последнее столетие была связана со средними широтами, и лишь постепенно он начинает осваивать ледяные пустыни Арктики и Антарктиды и овладевать песчаными пустынями юга. Он приносит свои новые, сложные химические реакции и нарушает природные процессы, возбуждая новые движения и странствования

нужных ему атомов. Новая химическая география давно уже наметилась установлением основ почвоведения, той науки, родина которой – Россия и будущее которой – плодородие наших полей. И мы вспоминаем, как в восьмидесятих годах прошлого столетия в небольшой аудитории Петербургского университета знаменитый «отец почвоведения» В. В. Докучаев в блестящих лекциях раскрывал увлекательные картины новой науки, рисуя те почвенные пояса, которые покрывают всю Землю, начиная с полярных тундр и кончая пустынями юга.

Тогда его прекрасное построение нельзя было еще перевести на язык химии. Но сейчас, когда химия мощно врывается в область геологической науки, когда агрохимии стали управлять жизнью растений и теми реакциями, которые происходят в почве, когда геохимики охватывают своими исследованиями все области странствования атомов, – мы начинаем понимать те сложные пути, которые проходит каждый атом в разных широтах нашей Земли.

А между тем прошлое учит нас, что эти широты менялись. В течение почти двух миллиардов лет менялась жизнь нашей земной коры, изменялось положение полюсов, горные хребты сначала вздымали свои снежные вершины лишь в полярных странах, и постепенно складчатость перемещалась на юг, образуя такие хребты, как пояса Альп и Гималаев. Перемещались с севера на юг и большие моря, опоясывающие Землю; менялись пояса, менялись условия ландшафта. В каждом месте много раз сменялись моря горами, горы – пустынями и снова морями.

Так в долгой геологической истории Земли менялся и ход химических реакций и странствования отдельных атомов, а почвенные и поверхностные покровы в каждом данном месте земного шара есть лишь отражение тех химических судеб, которые испытывали атомы в долгие периоды разнообразной истории нашей Земли.

Сейчас мы знаем, что все живет, все течет, все меняется во времени и пространстве, и среди природы самым подвижным, постоянно ищущим новых путей является атом, первозданный кирпичик, из которого строятся самые замечательные постройки мира, который вечно ищет покоя и равновесия, покорный основным законам природных процессов.

Ищет – но не находит и не найдет никогда, так как в природе нет покоя, а есть только вечная материя в вечном движении...

## ***Атомы в живой клетке***

Простым глазом можно видеть, что угли слагаются из остатков растений.

Раковины ископаемых морских моллюсков образуют нередко пласты известняков. Но если мы рассмотрим известняки, мел, диатомит и многие другие так называемые осадочные породы под микроскопом, то

увидим, что они часто сплошь состоят из остатков скелетов организмов микроскопической величины.

Одним словом, в геологии давно признана огромная роль населяющих земной шар организмов во всех процессах, которые происходят на поверхности Земли.

Живое вещество принимает большее или меньшее участие в таких геохимических процессах, как образование горных пород, концентрация или рассеяние отдельных химических элементов, осаждение веществ из воды, образование известняков из известковых скелетов организмов.

Но далеко не у всех морских организмов скелеты из известки. У некоторых, например губок, скелеты из кремнезема.

Но еще более существенно то, что в процессе жизни все организмы Земли, растения и животные, извлекают, поглощают или поедают и снова выделяют огромные массы различных веществ и как бы пропускают эти вещества через себя.

Скорость этого процесса особенно велика у самых мельчайших организмов: бактерий, простейших водорослей и других низших организмов.

Это связано с огромной скоростью их размножения. Они делятся каждые пять – десять минут.

Но и продолжительность жизни их невелика.

Подсчет показывает, что в этом процессе деления клеток захватывается количество вещества, во много тысяч раз большее того, которое находится в каждый данный момент во всех организмах Земли, растениях и животных или, как говорят, во всем живом веществе планеты.

Напомним, что зеленые растения на свету выделяют из своих листьев кислород и поглощают углекислоту. Кислород воздуха, образовавшийся таким путем, идет на окисление растительных остатков, окисляет некоторые горные породы, поглощается животными при дыхании.

Углекислота в растениях превращается в углеводы, белки и другие соединения. Представьте себе на момент, что на поверхности Земли, в ее морях и океанах, на равнинах и в горах исчезли все организмы. Что бы произошло?

Кислород связался бы остатками органического вещества и исчез бы из атмосферы. Состав ее стал бы другой. Микроскопических морских организмов с известковым скелетом не стало бы – следовательно, не стали бы образовываться пласты известняка и мела, перестали бы вздыматься меловые горы. Лик Земли совершенно преобразился бы и стал иным.

Геохимическая деятельность организмов чрезвычайно разнообразна. Разные организмы могут участвовать в самых различных процессах.

Для того чтобы выяснить геохимическую роль организмов, прежде всего необходимо знать их химический состав. Свое тело организмы строят целиком за счет веществ, извлекаемых тем или иным путем из окружающей их среды, – из воды, почвы и воздуха.

Очень давно было установлено, что главной составной частью всех организмов является вода –  $H_2O$ , в среднем около 80 %, причем несколько больше в растениях и несколько меньше в животных.

Поэтому элемент кислород в организмах занимает по массе первое место.

Совершенно исключительную роль играет в строении тела организмов углерод.

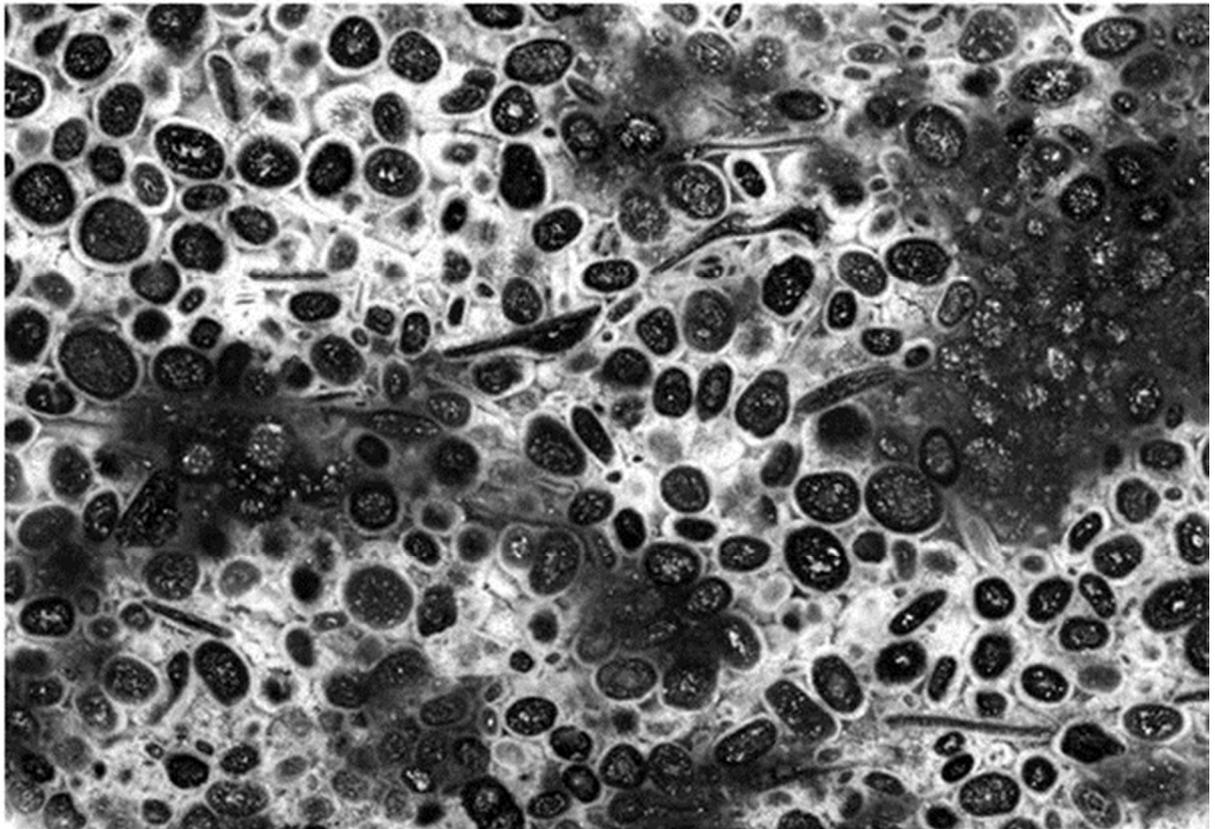
Углерод образует многие тысячи разнообразных соединений с водородом, азотом, серой, фосфором, из которых, в свою очередь, слагаются белки, жиры, углеводы, тела организмов.

Основным источником для этих углеродных соединений в живом веществе является углекислота. Далее, в организмах содержится значительное количество азота, фосфора, серы в виде сложных органических соединений.

Наконец, в организмах всегда находятся кальций – особенно в скелетах, – калий, железо и другие химические элементы.

Вначале полагали, что для всех организмов исключительное значение имеют десять – двенадцать элементов, находящихся в них в наибольших количествах.

Но позднее оказалось, что существуют организмы, которые помимо наиболее часто встречающихся десяти – двенадцати химических элементов концентрируют то железо, то марганец, то барий, то стронций, то ванадий, а также и многие другие редкие химические элементы.



Оолитовая руда

Так, обнаружилось, например, что кремний играет важную роль в жизни кремневых губок, микроскопических радиолярий, диатомовых водорослей, скелеты которых образуются из окиси кремния.

Железные бактерии концентрируют в своих телах железо. Открыты были бактерии, таким же образом концентрирующие марганец и серу.

В скелетах некоторых морских организмов обнаружили вместо кальция барий и стронций.

Некоторые организмы, например морские беспозвоночные оболочники, выбирают и накапливают атомы ванадия из морской воды и морского ила, где имеются лишь ничтожные следы этого элемента.

После гибели этих организмов ванадий в концентрированном виде остается в морских осадках.

Другие, как, например, водоросли, выбирают из морской воды йод, которого здесь миллионные доли процента. Затем йод с остатками морских водорослей поступает в морской грунт. В породе, впоследствии сложившейся из этого грунта, образуются йодные минерализованные воды. И мы добываем йод из пластовых вод, пробуравивая глубоко породы там, где было когда-то море.

Геохимическая роль подобных организмов-концентраторов огромна.

Чем совершеннее техника исследования состава организмов, тем большее число химических элементов находим мы в них, правда, в очень малых количествах.

Вначале даже допускали, что серебро, рубидий, кадмий и другие химические элементы, обнаруженные в организмах, – лишь случайное загрязнение, но теперь твердо установлено, что практически в состав организмов входят все химические элементы. Весь вопрос в том, в каких количествах содержатся они в разных организмах. В настоящее время именно этот вопрос и занимает ученых.

Мы заранее можем сказать, что состав организмов далеко не повторяет состава окружающей среды – пород, вод, газов, вместе взятых.

Например, в почвах и породах находятся в значительных количествах титан, торий, барий и другие химические элементы, между тем титана в организмах в десятки тысяч раз меньше, чем в почвах, и тому подобное.

С другой стороны, в почвах, в водах мало углерода, фосфора, калия и других химических элементов, которые скапливаются в организмах в значительно больших количествах.

С геохимической точки зрения в настоящее время стало ясно, что главная масса тела организмов складывается из тех химических элементов, которые в условиях поверхности Земли – биосферы (области обитания организмов на нашей планете) образуют легкоподвижные соединения или газы. Действительно, углекислота, азот, кислород, вода – все это газы или жидкости легкоподвижные, доступные для организмов в процессе их жизни. Йод, калий, кальций, фосфор, сера, кремний и многие другие легко образуют растворимые в воде соединения.



Раковина аммонита, превратившаяся в минерал марказит ( $\text{FeS}_2$ )

Зато титан, барий, цирконий, торий хотя и находятся в достаточном количестве в почвах и породах, не образуют в биосфере легко растворимых в воде и, следовательно, легко перемещающихся соединений. Они менее доступны или совсем недоступны организмам. Организмы их не накапливают. Они находятся в них в непропорционально малых количествах.

Очень мало в организмах и тех химических элементов, которых в биосфере недостаточно, как, например, радия, лития.

Химические элементы, находящиеся в организмах в очень малых количествах – порядка сотых долей процента и меньше, – называются часто микроэлементами.

В настоящее время признано, что физиологическая роль микроэлементов очень важна. Многие микроэлементы входят в состав физиологически важных веществ организмов, наподобие того как железо

входит в состав гемоглобина крови, йод входит в состав гормона щитовидной железы животных, а медь и цинк – в состав ферментов животных и растений.

Можно было бы построить карту анатомического строения организмов с указаниями, где, в каких органах и тканях концентрируются химические элементы. Но нас сейчас занимает геохимическая роль организмов.

И мы должны согласиться, что разные организмы выполняют различные геохимические функции в зависимости от их способности концентрировать тот или иной химический элемент, или, иначе говоря, в зависимости от их химического элементарного состава.

«Кальциевые» организмы, из скелетов которых слагаются известняки, участвуют в геохимической истории кальция в биосфере; организмы, концентрирующие кремний, ванадий, йод, играют важную роль в истории этих атомов.

Перед нами стоит задача – изучить влияние организмов на геохимическую историю разных атомов в биосфере, оценить это влияние и использовать его.

Уже сейчас оказалось возможным отыскивать месторождения металлов, наблюдая за характером растительности данного места и находя известные растения – концентраторы этих металлов. Руда, лежащая под почвой, невольно заражает собою почву. В такой почве увеличивается содержание никеля, кобальта, меди, цинка, а следовательно, увеличивается и содержание их в растениях.

Поэтому сейчас анализируют содержание этих элементов в растениях. Если оно повышенное, роют каналы и закладывают шурфы. Так были открыты некоторые цинковые, никелевые, молибденовые и другие месторождения.

Организмы – растения и животные – «привыкли» к определенной концентрации тех или иных химических элементов в среде – водах, почвах, породах. Там, где их оказывается меньше или, наоборот, больше, организмы отвечают изменениями своей формы и роста. Недостаток йода в почвах, водах и продуктах в некоторых горных районах вызывает у людей и животных эндемический зоб, а недостаток кальция – ломкость костей, и так далее.

Это все указывает, какая тесная зависимость существует между так называемой мертвой природой и живым веществом.

Они связаны друг с другом общей историей атомов химических элементов.

И чем лучше и подробнее мы будем знать историю перемещения химических элементов – атомов – на Земле, тем ярче и точнее будем представлять себе геохимическую деятельность живых организмов, а для этого необходимо прежде всего знать их количественный химический элементарный состав.

## ***Атомы в истории человечества***

Проследивая историю открытия химических элементов, мы наталкиваемся на странные и удивительные вещи. Первые элементы человек узнал попутно, не думая о них, даже не подозревая, что он владеет тайной, которая открыла бы острому уму важнейшие секреты природы. Трудно, с колоссальным усилием проникала в сознание почерпнутая из практики мысль о простых веществах, лежащих в основе строения всякой материи.

Алхимики не знали способа отличать простое тело от сложного, но они знали металлы и некоторые вещества, например мышьяк и сурьму. Вершины алхимической мудрости изложены в следующей записке алхимика:

Семь металлов создал свет  
По числу семи планет.  
Дал нам космос на добро  
Медь, железо, серебро,  
Злато, олово, свинец...  
Сын мой! Сера их отец.  
И спеши, мой сын, узнать:  
Всем им ртуть родная мать!

*(стихотворный перевод Н. Морозова)*

Алхимики, а позднее некоторое время и химики называли металлы именами планет: золото – Солнце, серебро – Луна, ртуть – Меркурий, медь – Венера, железо – Марс, олово – Юпитер, свинец – Сатурн. Мышьяк и сурьма не считались металлами, хотя их свойства окисляться и возгоняться при нагревании были известны очень хорошо.

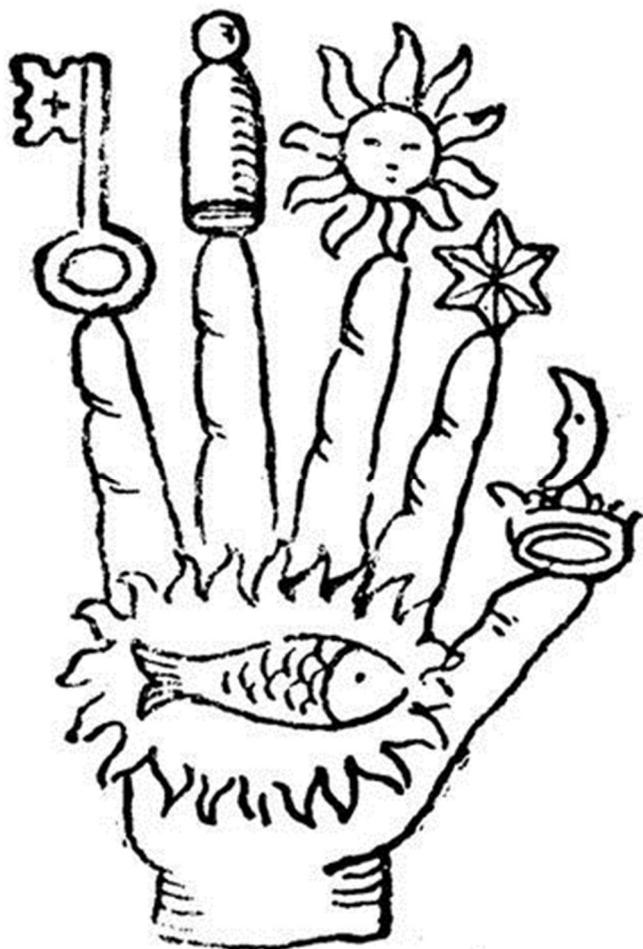
К сожалению, алхимики часто маскировали свои рецепты нелепыми и подчас трудно понимаемыми аллегориями.

Вот, например, «филозофическая рука алхимиков». Вы видите на ладони рыбу – символ ртути и огонь – символ серы. Рыба в огне – ртуть в сере, – по мнению алхимиков, первоисточник всех видов вещества.

Из соединения этих элементов, как пальцы из ладони, возникают пять главных солей, знаки которых стоят над пальцами: корона и луна – символ селитры; шестиконечная звезда – железный купорос; солнце – нашатырь; фонарь – символ квасцов; ключ – кухонная, или поваренная, соль.

Теперь понятно, что, когда алхимик писал: «взяв короля, его надо прокипятить...», – он имел в виду селитру, а кладя в реторту «фунт длинного пальца», он думал о нашатыре...

Алхимики также знали, что каждому металлу соответствует своя «земля», или «известь», и умели при помощи кислот эти «извести» (или, как мы говорим теперь, – «окислы») получать из всех металлов. Но они думали, что «извести» – более простые тела, а металлы – это соединения «известей» с «флогистоном», особым летучим началом огня.



«Философическая рука» алхимиков

Нужны были гений и трудолюбие Ломоносова и Лавуазье, чтобы доказать, что, наоборот, «ртутная известь» – сложное тело, состоящее из ртути и только что открытого Пристли газа кислорода, и что вес этого газа в точности равен прибавке в весе «ртутной земли». Годы этого открытия (1763–1775) по справедливости считаются годами начала современной химии и крушения алхимических фантазий, которые давно уже мешали научному изучению природы.

К этому времени было известно несколько десятков элементов: еще в 1669 году Бранд открыл фосфор, а в середине XVIII века были открыты

кобальт, никель и научились из «цинковой земли» получать металл цинк. Наконец в 1748 году в Америке Антонио Улоа описал новый, похожий на серебро металл – «серебришко», или платину.

Но настоящая ревизия всех «простых» тел началась только в последней четверти XVIII и начале XIX столетия. В 1774 году были открыты кислород и хлор, и через десять лет, разлагая воду током от гальванических батарей, Кавендиш открыл водород и выяснил состав воды.

Дальнейшие открытия элементов шли закономерно: брали природное новое тело и разлагали его на составные части. В ряде случаев наталкивались на новые элементы. Так были открыты марганец, молибден, вольфрам, уран и цирконий, а также ряд других элементов.

В 1808 году Дэви усовершенствовал электролиз, а русский ученый Якоби усилил мощность тока и научился при помощи керосина и минеральных масел защищать продукты электролиза от окисления. Так были получены щелочные металлы в чистом виде, – были открыты калий, натрий, кальций, магний, барий и стронций.

За 14 лет, с 1804 по 1818 год, было открыто 14 элементов (кроме тех, о которых мы говорили, были открыты: йод, кадмий, селен и литий). За ними последовали бром, алюминий, торий, ванадий и рутений. А потом следует перерыв: нужны были новые методы исследований, старые уже исчерпали свои возможности.

Лишь когда в 1859 году был открыт спектральный анализ, снова последовали открытия, теперь уже таких элементов, которые были близки по свойствам к ранее изученным и не могли быть от них отличены старыми научными методами. Были открыты: рубидий, цезий, таллий, индий, эрбий, тербий и некоторые другие. Когда Д. И. Менделеев в 1868 году открыл свой знаменитый закон, ему уже было известно 60 элементов.

С этих пор наука получила твердую уверенность в существовании тех или иных элементов.

Оказалось, что у каждого элемента есть в таблице свое место, общее число всех элементов ограничено и пустые клетки – это еще не открытые элементы.

Для трех из них – экаалюминия (клетка № 31), экасилиция (клетка № 32) и экабора (клетка № 21) – Менделеев предсказал главные физические и химические свойства. Его предсказание блестяще подтвердилось, когда эти элементы были открыты. Экабор был назван скандием, экаалюминий – галлием, а экасилиций – германием.

Однако не следует думать, что прежде всего человечеству стали известны элементы, часто встречаемые в земной коре, а редкие – потом. Ничего подобного. Например, золота, меди и олова в земной коре очень мало, в то же время это были первые металлы, с которыми

познакомились люди и которые были использованы в технической культуре. А между тем олова в среднем в земной коре несколько миллионных долей, меди – несколько десятитысячных, а золота так даже одна-две миллиардных.

И в то же время самые распространенные в земной коре элементы, как, например, алюминий, составляющий 7,45 % земной коры, были открыты очень поздно; алюминий еще в начале XX столетия считался редким металлом.

Причина здесь кроется в другом, а именно, насколько легко металл образуется в самородном виде и часто ли встречаются скопления с преобладанием этого металла, так называемые месторождения.

Способность собираться, концентрироваться в одном месте – вот что облегчило открытие и использование металлов в технике для потребностей человечества.

Открытие каждого нового элемента знаменует начало изучения его свойств, сперва химиками в лаборатории. Это, так сказать, первое знакомство. При этом химики ищут особенности элемента, его отличительные, оригинальные черты.

Например, разве не любопытно, что удельный вес лития – 0,53, так что этот металл плавает даже в бензине? А у осмия, наоборот, – 22,6, так что он в сорок раз тяжелее лития. Разве не любопытно, что галлий плавится всего при 30 °С, но температура кипения его (2300°) лежит далеко за пределами тех высоких температур, которые обычно употребляются в технике. «Что же тут любопытного?» – спросите вы. Попробуем рассказать.

Сначала о галлии. Применяя высокий нагрев в лабораториях и на заводах, инженеры и химики всегда хотят знать, до какой температуры нагревается проба или изделие. Конечно, прежде всего надо измерить температуру. Но вот беда: до 360° измерить очень просто, но при более сильных нагревах возникают затруднения: ртуть при 360° кипит, и ртутные термометры не годятся. А вот галлий годится. Если взять тугоплавкое кварцевое стекло и наполнить градусник расплавленным галлием, то таким термометром можно мерить температуру почти до 1700°, а галлий еще и не думает кипеть. Если найти более тугоплавкие стекла, то можно измерить температуру и в 2000°.

Теперь о весе. Вес, тяжесть – нечто гнетущее, прижимающее к земле. Вес сопротивляется движению, скорости, подъему на неизведанные высоты. А человек хочет двигаться быстро по земле, хочет летать по воздуху, как птица. Для этого надо победить тяжесть, и человек ищет легких и прочных конструкций, легкого и прочного материала. И вот особенно подходящими оказались два металла: алюминий с удельным весом 2,7 и магний, удельный вес которого 1,74.

В современном самолете большая часть его деталей состоит из алюминия, или, вернее, из его сплавов с медью, цинком, магнием и другими металлами. Но такое господствующее положение алюминий приобрел не сразу, а в упорной борьбе за улучшение своих качеств – прочности, твердости, упругости и устойчивости против огня и окислителей. Когда были преодолены трудности получения металлического алюминия, то он первым делом завоевал кухню. Легкие и чистые неокисляющиеся кастрюли, ложки и кружки – вот на что были истрачены первые его запасы. В технике его вначале не применяли, – да и куда, казалось, годится этот мягкий, не особенно прочный, не паяющийся, легкоплавкий металл? Алюминий завоевал мир только после того, как был изготовлен дюралюминий – твердый сплав, полученный «кухонным способом»: в тигель с алюминием добавляли попеременно различные металлы, и каждый новый сплав исследовался на прочность и другие качества.

Никто не мог в то время объяснить, почему 4 % меди, 0,5 % магния и незначительные примеси других металлов превратили мягкий, податливый алюминий в чудесный дюраль, прочный и способный закаливаться, как сталь. Замечательные свойства дюралюминия проявляются не сразу, и это значительно облегчает и упрощает его обработку. После закалки дюраль остается мягким еще несколько дней. За это время он «набирается сил», пока внутри сплава происходит перемещение медных частиц, образующих скелет дюралюминия. Но имеются и другие сплавы, которые кое в чем даже лучше дюралья. Таков, например, русский кольчугалюминий, по прочности превосходящий дюраль.

Внедрение дюралья и других легких сплавов имеет колоссальное значение для всех видов транспорта. Вес вагона метро или трамвая, сделанного из алюминия, на треть меньше, чем изготовленного из стали. В стальном трамвайном вагоне на одно пассажирское место приходится около 400 килограммов мертвого веса. А если металлическую конструкцию трамвая выполнить из алюминия, то вес на пассажирское место снизится до 280 килограммов.

История магния очень любопытна: он, можно сказать, был открыт два раза. Первый раз его открыл Дэви, и с тех пор он более ста лет считался одним из самых бесполезных металлов. Он шел лишь на елочную пиротехнику, в виде лент и порошка. Но в XX столетии было обнаружено, что этот «игрушечный» металл обладает такими замечательными свойствами, что его применение может вызвать настоящий переворот в различных областях техники.

Алюминий дал человеку настоящие крылья. Но человеку мало только летать – ему надо летать как можно дальше. И вот, если вес металла, из которого сделан самолет, сделать еще легче, скажем, на 20 %, то это лишняя тонна бензина в запасе и, стало быть, лишние тысячи

километров полета. Но где же найти металл более легкий, чем алюминий?

И вот вспомнили про магний. Ведь его удельный вес 1,74 г, то есть на 35 % меньше, чем алюминия. Однако у магния нет тех качеств, которые нужны для строительного металла, то есть крепости и в особенности сопротивляемости к окислению; магний даже кипящей водой разлагается, отнимая от нее кислород и превращаясь в белый порошок – окись магния. Да и на воздухе он горит лучше дерева. Но конструкторы и химики не пришли в отчаяние: они знали, что сплавы – вот что поможет им найти металл с нужными свойствами. И действительно оказалось, что самые небольшие прибавки меди, алюминия и цинка лишают магний горючести и придают ему прочность, равную прочности дюралю. Все сплавы, содержащие более 40 % магния, называются электронами. В электроны, кроме магния, входят еще алюминий, цинк, марганец и медь.

И вот теперь, в XX веке, магний был открыт второй раз и сразу же завоевал себе прочное место как металл самолетостроения. Особенно обширно его применение для авиамоторов. Их части из магниевых сплавов обладают большой прочностью и неустойчивостью.

Разве металлы «устают»? К сожалению, да. Стальная пружина, разгибаясь и сгибаясь сотни тысяч раз, теряет упругость, становится хрупкой и ломается – «устает». Вал мотора, «старея», ломается. И вот техника открыла, что некоторые сплавы «неустойчивы»; и у них атомы разных металлов так хорошо подошли друг к другу, что, несмотря на удары, сцепление их не ослабевает. Таковы сплавы с магнием.

Конечно, одно самолетостроение не исчерпывает всех возможностей использования магния. Он широко применяется в автомобилестроении. Инструменты и части машин из магниевых сплавов отличаются большой прочностью и легкостью: они в пять-шесть раз легче стальных при той же, а иногда и большей прочности.

Магний – очень распространенный в земной коре металл, он встречается всюду. Подобно железу, он легко образует месторождения. В больших количествах магний содержится в морской воде, в соленых озерах, например у крымских берегов в водах Сиваша.

Главная руда магния – карналлит (двойная хлористая соль калия и магния), и наш Советский Союз исключительно богат им. Крупные запасы его в Соликамском месторождении лежат пластами под землей на глубине 100–200 м от поверхности. Карналлит рвут аммоналом, рубят отбойными молотками в шахтах и поднимают на поверхность.

Здесь еще нужно с ним много повозиться, чтобы отделить магний от хлора, с которым он тесно связан. Для этого карналлит надо расплавить и пропустить через него постоянный ток. Электричество разорвет связь между магнием и хлором, и белый металл живыми струйками польется в изложницы.

Сейчас пришло время добывать магний и из морской воды, в которой 3,5 % солей, и из них одна десятая часть магния. Таким образом, один кубометр морской воды содержит 3,5 кг металлического магния.

Добыча его очень проста: фильтрованная морская вода наливается в чаны, куда подсыпается гашеная известь, и тогда, в виде мути, выпадает гидрат окиси магния. Его отстаивают, а воду сливают. Осадок сушат на фильтрах, нейтрализуют соляной кислотой и окончательно обезвоживают. Полученный хлористый магний идет на электролиз в плавном виде, примерно при 700°, как и карналлит. Вот и весь процесс.

Но магний не только строительный металл. Его способность гореть, развивая при этом огромную температуру, до 3500°, тоже не забыта техникой. Магний – важная составная часть в специальных бронзах. Магнеалюминиевая пыль – самая сильная смесь для зажигательных бомб. Магний очень нужен промышленности, и ему предстоит блестящее будущее.

Но вернемся к самолетам. Есть и еще «летающий» металл, к освоению которого самолетостроители сейчас только приступают. Это бериллий. Его удельный вес 1,82, но он устойчивее и «крепче» магния.

Сплавы бериллия превосходят по качествам все сплавы, до сих пор применяемые в самолетостроении. Инструменты из этих сплавов работают без шума и не дают искр.

Бериллий повышает качества магниевых сплавов, сообщая им особую прочность и неокисляемость. Незначительная присадка бериллия к магнию устраняет необходимость защищать металлический магний от окисления при разливке.

Но встает вопрос: а нет ли сплавов еще более легких?

Вспомним о металле литии. Ведь его удельный вес 0,53, то есть как у пробки. А между тем, прибавленный в небольших количествах к сплавам алюминия и магния, он придает им особую твердость.

К сожалению, еще не найдено стойких сплавов с большим количеством лития. Но искать их стоит, так как литий – распространенный металл, его в земной коре столько же, сколько цинка, и он встречается в значительных количествах в некоторых месторождениях в виде минералов сподумена и литиевых слюд.

Следовательно, если бы, например, сплавы лития с бериллием оказались подходящими, литий можно добыть в достаточных количествах. Но работы по изучению литиевых сплавов еще не увенчались успехом, – это является задачей сегодняшнего дня.

Литий встречается в минеральных водах, и врачи приписывают водам, богатым литием (как, например, воды Виши во Франции), особо целебные свойства. Но все же наиболее заманчивой является

перспектива получения легкого, прочного и неокисляющегося металла для самолетов.

Легкие металлы и сплавы, однако, еще далеко не заменили в настоящее время черные металлы – железо, сталь и их сплавы ни в транспорте, ни во многих других видах промышленности. Поговорим об этих «старичках», которые, однако, еще очень бодры, крепки и дают все новые сплавы отличных качеств.

Если учесть все сложные, так называемые легированные, стали, то мы увидим, что они состоят из ряда близких между собой металлов – железа, титана, никеля, кобальта, хрома, ванадия, марганца, молибдена и вольфрама. Все эти сплавы в основе своей – «стали», то есть состоят из углеродистого железа, качества которого существенно улучшены «легированием», или прибавкой редкого металла.

Идя по пути замены части железа редкими металлами, технологи пришли к сплавам, в которых уже нет железа. Таков, например, стеллит, состоящий из вольфрама, хрома и кобальта. Этот сплав явился родоначальником широко известных теперь сверхтвердых сплавов, принеших в технику невиданные скорости резания металла – сначала 70–80, а теперь и сотни метров в минуту.

Вольфрам породил сверхтвердые сплавы и мощную технику резания металлов. Вольфрам и молибден дали сотни новых марок сталей, небывалых по прочности, жароупорных, броневых, рессорных, снарядных, бронебойных и тому подобных.

Нет, пожалуй, ни одной отрасли техники, в которую не проникало бы коренных изменений в связи с раскрытием свойств таких редких металлов, как вольфрам, молибден и другие.

Впрочем, название «редкие» – для них уже пережиток. Если учесть их содержание в земной коре, то молибдена в два, а вольфрама даже в семь раз больше, чем свинца. Какие же они редкие! А в промышленности они тоже уже становятся обычными, и их добыча сильно растет, догоняя добычу других, обычных, «нередких» металлов.

Стальные сплавы с молибденом применяются для изготовления орудийных стволов и лафетов. Марганцево-молибденовая сталь применяется как материал для брони и бронебойных снарядов.

Конструкторы автомобилей и самолетов предъявляют три основных требования к металлу: максимальная упругость, большая вязкость, высокое сопротивление длительным сотрясениям и частым ударам. Рост потребления молибдена за последние годы как раз и объясняется широким применением его в валах, шатунах, опорных механизмах, авиадвигателях, трубах, особенно в соединении с хромом и никелем.

Другой вид использования молибдена – высококачественное литье из серого чугуна. Ничтожная прибавка в 0,25 % молибдена повышает

физические свойства чугуна, в частности сопротивление на изгиб и на растяжение, а также твердость.

Вольфрам и молибден в виде тонкой проволоки используются в значительном количестве в электротехнике для вакуумных ламп. Из вольфрама готовят нити накаливания ламп. Температура плавления вольфрама  $3380^{\circ}$ , наивысшая из температур плавления металлов. Только углерод, один-единственный элемент, плавится при еще более высокой температуре – при  $3500^{\circ}$ . К вольфраму близки по температуре плавления два элемента: тантал ( $3000^{\circ}$ ) и рений ( $3170^{\circ}$ ). Из молибдена, температура плавления которого  $2625^{\circ}$ , делают крючки, поддерживающие раскаленный вольфрамовый волосок в электрических лампах.

Мы видим, что мало открыть элемент, – его надо изучить, открыть в нем то качество, которое особенно ценно в изделиях, и тогда элемент как бы вторично открывается и делается полезным и необходимым. Вот, например, вольфрамовые контакты в автомобильных моторах, где тонкая, в десятую миллиметра, пластиночка из вольфрама обеспечивает электрический контакт в прерывателе, работая безотказно сотни часов.

Разве не поучителен также пример с ниобием? Ниобий считался бесполезным элементом, «загрязняющим» тантал, с которым он обычно вместе встречается. Но когда открыли, что сталь с примесью ниобия – великолепный сварочный материал для электросварки стальных изделий, дающий небывалую прочность шва, то ниобий стал так же нужен, как тантал.

Вовлечение все новых элементов в промышленность, конечно, далеко не кончено, да и никогда не будет кончено, так как поступательное движение технического прогресса безгранично. И химикам и геохимикам здесь принадлежит почетная роль.

Но каково же, однако, влияние технического прогресса на Землю, которая является поставщиком всех веществ, необходимых технике? Человек по-своему стремится перековать земную кору, черпает из нее все, что ему нужно, не думая о том, что то, что он берет, уже невозвратно. Не истощает ли человек Землю?

Вот вопросы, которые приходят в голову, когда мы следим за общим развитием человечества на Земле. И есть еще одно обстоятельство, которое побуждает поставить этот вопрос: это все увеличивающиеся количества полезных продуктов, извлекаемых ежегодно из земных недр.

Мне вспоминается рассказ одного инженера, побывавшего на горных разработках. Он остановился в домике около большой горы из магнезита, а через две-три недели горы уже не было: она была свезена на цементный завод.

Стоит только посмотреть на горы шлаков, выбрасываемых нашими металлургическими заводами, чтобы понять, что человеческая деятельность – геологический фактор, преобразующий земную кору.

Одна из самых важных проблем мирового химического хозяйства – это судьба углерода, в которую особенно энергично вмешался человек. Углерод распространен в природе в трех формах: в виде живого вещества, в виде скоплений угля и нефти в поверхностной зоне земной коры и в окисленном виде – в виде углекислоты, находящейся в атмосфере, в водах рек и океанов. Но более всего углекислоты в соединении с кальцием в твердых известняках.

В атмосфере содержится свыше двух тысяч миллиардов тонн углекислоты и, следовательно, 600 миллиардов тонн углерода. Человек добывает ежегодно свыше миллиарда тонн угля и 200 миллионов тонн нефти. И то и другое он сжигает, превращая углерод в углекислоту. Таким образом, в атмосферу поступает ежегодно свыше трех миллиардов тонн углекислоты, и через двести-триста лет ее количество должно было бы удвоиться, если бы не было встречных процессов: растворения в океане и поглощения растениями.

Используя углерод угольных слоев, человек способствует распылению и рассеянию этого элемента, и притом в столь значительных масштабах, что его деятельность принимает размеры настоящих геологических преобразований.

Не менее властно человек вмешивается и в судьбу металлов: он имеет в обращении около миллиарда тонн железа и изделий из него, причем металл находится в неустойчивой форме самородного металла и окисляется.

Окисление обесценивает почти столько же железа, сколько его за это же время добывается, так что накопление железа не может побороть его распыление.

Несколько лучше положение с золотом: за год его уходит на реактивы, на позолоту и распыляется на износ около тонны, то есть много меньше, чем добывается (около 600 тонн).

А такие металлы, как свинец, олово, цинк, добываются человеком из природных скоплений в земной коре – так называемых месторождений – лишь для того, чтобы в процессе использования их оказаться безвозвратно рассеянными.

Сельскохозяйственная и инженерная деятельность человека по своим масштабам также вполне соизмерима с влиянием стихийных процессов.

Огромное геохимическое значение имеет обработка верхнего слоя земли, или почвы, для нужд сельского хозяйства, так как в результате этой обработки свыше трех тысяч кубических километров земли ежегодно делаются доступными энергичному воздействию атмосферных вод и воздуха.

Культурные растения выносят из почвы громадное количество минеральных веществ: фосфорного ангидрида – 10 миллионов тонн, азота и калия – 30 миллионов тонн. Это количество во много раз больше того, что вносится в почву при ее удобрении. Извлекаемые элементы поступают в круговорот в животном мире и в конце концов рассеиваются.

В итоге человек производит распыление вещества своей сельскохозяйственной и технической деятельностью. Ежегодно во всех горных выработках добывается свыше одного кубического километра пород. Если добавить еще постройку плотин, ирригационных каналов и прочее, то эту цифру надо удвоить, а может быть, и утроить.

Количество шлаков из всех металлургических печей мира тоже достигает, вероятно, кубического километра. А сколько отбросов химической промышленности выносятся человеком на поверхность Земли!

Если сравнить эти цифры с 15 кубическими километрами осадков, уносимых ежегодно с земной поверхности всеми реками, то придется признать, что человеческая деятельность может быть признана таким же серьезным фактором, как и деятельность рек.

А строительное искусство, – сколько камней и цемента тратится здесь ежегодно! Интенсивно идущее у нас строительство социалистических городов ежегодно использует более миллиарда тонн различных строительных материалов.

Преобразование природы человеком идет во все более возрастающем темпе. Если исходить из общих запасов металлов в Земле, то они велики, и об их истощении говорить пока не приходится. Но эти запасы далеко не все могут быть использованы, так как практически промышленность может брать только богатые скопления того или иного металла. А их не так много.

По многим металлам реальные запасы едва обеспечивают требования промышленности. Поэтому целые армии геологов-поисковиков и геохимиков должны напряженно искать металлы, чтобы обеспечить все растущие запросы промышленности.

И чем больше мы уделим внимание этим вопросам, тем скорее наша Родина получит в изобилии редкие и ценные металлы, необходимые для расцвета ее могущества и славы.

## ***Атомы на войне***

Для нашего времени характерны войны, в которые втягивается все хозяйство воюющих стран. Впервые это обнаружилось с особой силой в Первую мировую войну. Взрывчатые вещества, сталь, медь, селитра, нефть, черный металл начали влиять на судьбы военных операций.

Боеспособность армий в значительной степени стала зависеть от обеспеченности сырьем.

Сражение при Вердене в 1916 году, длившееся несколько месяцев, показало новые масштабы расходования сырья. Немцы истратили около миллиона тонн железа и стали в неудачных атаках на гарнизон, оборонявший крепость Верден, превратив поля и подземные сооружения укрепленного района в целое «месторождение» стали. Количество сырья, используемого в сражениях, стало расти в грандиозной пропорции.

Потребность в цементе для германской армии в 1917 году, когда она, зарывшись в окопы, перешла к позиционной борьбе, почти равнялась годовому производству цемента в Германии.

Потребность в соединениях азота, в серной кислоте для производства взрывчатых веществ, в йоде превзошла в несколько раз производственную мощность всех имевшихся в Европе заводов. Чаша весов военного счастья колебалась то в ту, то в другую сторону.

К концу 1917 года во Франции оставалось стали лишь на неделю, взрывчатых веществ почти не было. Англия стояла перед кризисом угля и хлеба. Подводные лодки немцев топили английский торговый флот, и голод угрожал десяткам миллионов людей, так как запасов продовольствия и сырья оставалось на считанные недели.

Но у Германии запасы сырья были исчерпаны еще в большей степени, чем у ее противников. Резервов цветных металлов больше не было. Лома металла, собиравшегося на полях сражений, не хватало.

Отсутствие сырья грозило катастрофой, приближавшейся быстрыми темпами. Когда в марте 1918 года немцам неожиданным ударом удалось прорвать западный фронт и занять Амьен, перед ними, в сущности, открылась дорога на Париж, до которого оставалось всего 120 км. Однако армия оказалась парализованной: не было резины и не было бензина; снежная метель не позволяла механизированному транспорту перемещаться на «полуживых», оборванных каучуковых шинах; прекратился подвоз продовольствия и снарядов. Армия остановилась. Участь Германии была решена. Ресурсы Германии, ее материальные и моральные силы истощились прежде, чем у ее противников, и Германия была побеждена. Таковы уроки Первой мировой войны.

Да, сырье, обеспечение стратегическим сырьем во всей грандиозности и сложности проблемы сделалось важной задачей всех стран, и особенно агрессоров, еще задолго до начала Второй мировой войны! Возникла огромная литература, раскрывшая перед нами целый мир новых сложных проблем, в которых переплетаются экономика и геология, техника и металлургия.

Можно насчитать свыше двадцати пяти видов стратегического сырья: это железо, алюминий, магний, цинк, медь, свинец, марганец, хром, никель,

мышьяк, сурьма, ртуть, бор, молибден, вольфрам, нефть, уголь, каучук, азот, сера, серный колчедан, графит, калий, йод, фосфаты, асбест и слюда. К этому перечню необходимо прибавить и уран.

И вот еще до Второй мировой войны началась борьба за сырье. Америка стала развивать производство нужных ей металлов. Германия, наоборот, законсервировала ряд своих месторождений, считая их глубинными фондами. Она, например, прекратила добычу собственного серного колчедана, сохраняя месторождения этого источника серной кислоты на случай войны, а стала усиленно ввозить колчедан из Испании.

Германия провела ряд мер по подготовке к эксплуатации своих бедных (сильно марганцовистых) железных руд, но разрабатывать их не стала. Бросая на это дело все свои валютные фонды, Германия за предвоенное пятилетие усиленно ввозила сырье; она ввезла марганцевых руд в пять раз больше, чем за десять лет до этого, скупала в огромных количествах вольфрам, молибден, ввезла большое количество нефтепродуктов. На нефть были затрачены миллиардные суммы. Военная промышленность Германии после первой империалистической войны быстро восстанавливалась благодаря помощи английских и американских капиталистов.

Наконец, Германия провела ряд мероприятий по захвату рынков сырья в союзных и соседних странах как возможных источников для покрытия дефицита во время самой войны. Как это делалось, показывает следующий пример. Сразу после Первой мировой войны Германия приобрела медное месторождение Бор в Югославии. Подчинив его немецкому капиталу и направив туда своих инженеров, Германия подготовила для себя это замечательное месторождение, которое во время войны должно было удвоить снабжение страны медью, увеличив его почти на 50 тысяч тонн в год. Однако во время войны это предприятие было в значительной части разрушено рабочими, и фашистской Германии не удалось воспользоваться его запасами.

Каковы масштабы потребностей в сырье, можно видеть из таких примерных расчетов. Скажем, для современной армии<sup>[65]</sup> в 300 механизированных и моторизованных дивизий, то есть в 6–7 миллионов человек, для одного года войны требуется примерно 30 миллионов тонн железа и стали, 250 миллионов тонн угля, 25 миллионов тонн нефти и бензина, 10 миллионов тонн цемента, 2 миллиона тонн марганца, 20 тысяч тонн никеля, 10 тысяч тонн вольфрама и еще много других веществ.

Вдумаемся в эти грандиозные цифры и попробуем их осмыслить. Что такое 30 миллионов тонн стали? Чтобы выплавить такое количество металла, надо не менее 60–70 миллионов тонн руды, то есть нужно выработать несколько крупных месторождений.

Еще значительно больше цифра для нефти – 25 миллионов тонн, причем эта цифра скорее преуменьшена, так как механизация армии и тыла,

воздушный и морской флот пожирают огромное количество самых разнообразных нефтяных продуктов. Вся Румыния в годы максимального подъема давала до 7–8 миллионов тонн. Иран же может давать в год 10–11 миллионов тонн.

Помимо указанных видов сырья, для войны требуется огромное количество каучука, цветных металлов, строительного леса, асбеста, слюды, серы, серной кислоты и многого другого.

Но не только огромные масштабы использования сырья становятся фактором геохимического перераспределения металлов. Современную военную технику характеризует еще другая, новая черта. Это огромное расширение ассортимента веществ, принимающих прямое или косвенное участие в бою, переоценка основных и решающих видов стратегического сырья, внедрение сотен и тысяч новых продуктов, соединений и сплавов.

Вместо железной кольчуги и лат средневековых рыцарей, вместо железа и стали – в недавнем прошлом почти единственных металлов войны – сейчас на арену боя вступили новые силы Земли, новые химические элементы и их соединения, редчайшие металлы и особенно «черное золото» – нефть.

В ряде случаев именно они определяют успех военных операций.

Попробуем химически расшифровать картину современного сражения. Вот идет бой между танковыми частями. Качество броневой стали в значительной степени определяет успех боя. Хром и никель, марганец и молибден обеспечивают устойчивость брони; ванадий и вольфрам, молибден и ниобий входят в состав наиболее ответственных частей машин – осей, передач, гусениц; хромовые краски со свинцом окрашивают танки в защитный цвет; особое стекло с бором, поляроидные стекла с соединениями йода позволяют водителю видеть противника, несмотря на ослепительный свет прожекторов и фар. Отдельные, менее ответственные части боевой машины сделаны из дюралюминия и силумина – сплава алюминия и кремния.

Высокого качества бензин, керосин, легкая нефть, лучшие смазочные масла, получаемые из нефти, определяют жизненность машины и скорость ее движения, а соединения брома улучшают сгорание и частично ослабляют шум моторов.

Около тридцати химических элементов участвует в строении броневой машины. Но еще большее количество их входит в химический состав ее вооружения: сурьма, металлическая и сернистая, в шрапнелях и гранатах; свинец, олово, медь, алюминий и никель – в снарядах, бомбах, патронах и пулеметных лентах; особо хрупкая сталь, легко поддающаяся разрыву; сложный набор взрывчатых веществ, полученных из нефти и угля как продукты их переработки, обладающие огромной взрывной силой. В столкновении броневых машин и танков участвуют десятки тысяч тонн металла и различных химических веществ, и руководители

боя, танкисты, водители машин управляют химическими реакциями огромного масштаба, страшными по своей разрушительной силе, с механическими давлениями, измеряемыми сотнями тонн на единицу поверхности.

Между тем даже разрушительные лавины, уничтожающие целые поселки, вызывают давление максимум в 10–15 т на квадратный метр – ничтожная цифра по сравнению с мощностью воздушной волны от взрыва фугасной бомбы! Чем мощнее броня, чем выше октановое число бензина, чем разрушительнее сила взрывчатых веществ, тем больше преимуществ у воюющего.

Попробуем дать химический анализ ночной бомбежки современного большого города.

Летит эскадрилья бомбардировщиков и истребителей в темную осеннюю ночь – алюминиевые коршуны весом в несколько тонн из сплавов алюминия – дюраля, силумина. За ними несколько тяжелых машин из специальной стали с хромом, никелем, с прочными спайками из лучшей ниобиевой стали; ответственные части моторов – из бериллиевой бронзы, другие части машин – из электрона, сплава магния с медью, цинком и алюминием. В баках – или особая легкая нефть, или лучшие, чистейшие сорта бензина, с самым высоким октановым числом, ибо оно обеспечит скорость полета.

У штурвала – летчик с картой, покрытой листком слюды или специального борного стекла. Торийевые и радиевые светящиеся составы зеленоватым светом освещают многочисленные счетчики и указатели, а внизу, под машиной, висят легко сбрасываемые специальным рычагом авиационные бомбы из легко разрывающегося металла с детонаторами из гремучей ртути и гирлянды зажигательных бомб из порошка алюминия, магния и окиси железа.

То приглушая мотор, то вновь запуская его на полный ход, так что от шума пропеллеров и моторов эскадрильи дрожат дома и звенят стекла, коршуны противника спускают на парашютах осветительные ракеты.

Мы видим сначала красновато-желтое пламя медленно опускающегося факела-люстры: это горит специальный состав из угля, бертолетовой соли и солей кальция.

Но свет постепенно делается более ровным, ярким и белым – загорается порошок магния, спрессованный с особыми составами, порошок того магния, который мы так часто зажигали для фотографической съемки, магния с примесью солей бария, сообщающих пламени зеленоватый оттенок.

Но не дремлет и оборона города. На тонких стальных тросах, мешая движению пикирующих самолетов, колеблются защитные шары, наполненные водородом. В ответственных случаях употребляется также и газ гелий. Улавливая звуки моторов, особые слухачи при помощи

звуковых дальномеров даже сквозь тучи и туман определяют положение налетевшего самолета и автоматически выбрасывают навстречу мигающие желтовато-красные звездочки, то вспыхивающие, то потухающие в ослепительно светящемся составе, в которых особую роль играют соли кальция.

Десятки ярких лучей прожекторов вонзаются на несколько километров во тьму неба. Золото и палладий, серебро и индий – вот те металлы, отблески которых сверкают на пойманных и бьющихся в ослепительных лучах дюралюминиевых вражеских птицах. Угли электрических ламп прожекторов пропитаны солями редчайших металлов, называемых редкими землями.

Английские ученые особую интенсивность лучей своих прожекторов, пронизывающих туманы Лондона, приписывают солям тория, циркония и некоторым другим специальным металлам.

Вот к свету ослепительной люстры, подвешенной на парашюте, присоединяется дымовая завеса. Совершая восьмерки над освещенным районом и выбрав место удара, самолет противника из особого снаряда выпускает ленту дымовой завесы из солей титана или олова, намечая для бомбардировщиков район пикировки.

Но уже брошены против ослепительного света магниевых люстр тысячи красных и красно-желтых трассирующих пуль защитников города. Их яркие вспышки мешают летчику разбираться в обстановке. В лучах солей кальция и стронция он теряет ориентировку и бросает бомбы куда придется. Сотнями разбрасывает он на мирные дома зажигательные бомбы в алюминиевой коробке с начинкой из порошка металлических алюминия и магния, с особым окисляющим веществом, с детонатором из гремучей ртути в головке, иногда с небольшим количеством битума или нефти для быстрейшего зажигания. Нажимом рычагов срываются с петель фугасные бомбы, воздушная волна от разрывов которых производит еще большие разрушения, чем бронебойный снаряд тяжелых орудий морской артиллерии.

Заговорили зенитки, следящие за пикирующим полетом коршуна. Шрапнели и осколки зенитных снарядов осыпают вражеский самолет. И снова хрупкая сталь, сурьма и взрывчатые вещества из угля и нефти вводят в действие разрушительную силу химических реакций. Эти реакции, которые мы называем взрывом, протекают в тысячные доли секунды, создавая колебательные движения и механические удары огромной силы.

Но вот – удачный выстрел. Пробито крыло налетевшего коршуна – и тяжелым грузом летит он на землю с остатками бомб. Взрываются бензиновые и нефтяные баки, рвутся не-сброшенные снаряды, сгорает и превращается в кучу бесформенного металла многотонный бомбардировщик.

«Фашистский самолет сбит» – гласит краткое сообщение в газете.

«Сильнейшая химическая реакция закончена, и химическое равновесие восстановлено» – можно сказать языком химии.

«Еще один удар по фашистской своре, по ее технике, живой силе и нервам», – говорим мы.

Свыше 46 элементов участвует в воздушном бою, почти половина всей менделеевской таблицы.

Но я не закончил еще своих химических картин борьбы. Борьба идет не только на полях сражений, она неразрывно сливает тыл с фронтом, вовлекая все отрасли промышленности в обслуживание нужд армии. Далеко в тылу сернокислотный завод – основной нерв промышленности взрывчатых веществ. Длинной цепочкой тянулись такие заводы в Рейнско-Вестфальской области в Германии, и столько же их было разбросано на бывших границах с Польшей.

Сотни тысяч тонн колчедана, богатого серой, нужны для сернокислотного завода. Специальные кислотоупорные сооружения сделаны то из свинца, то из ниобиевых сплавов. Кислотоупорные лавы, чистейшее кварцевое сырье, тончайшие катализаторы из ванадиевых или платиновых металлов – это только небольшая часть того огромного и сложного химического хозяйства, без которого не может жить ни один сернокислотный завод как боевая единица химического производства, дающая серную кислоту для взрывчатых веществ, селен для фотоэлементов и медь и золото в своих отходах.

А вот мастерская для приготовления снарядов. Обточка стальных болванок требует твердых резцов из вольфрамовой или молибденовой самозакаливающейся стали. Лучшие сорта наждака, корундовой пыли, тончайшего оловянного порошка, хромового или железного крокуса нужны для полировки наиболее ответственных частей. Никель, медь, бронза, сплавы алюминия идут на отдельные части.

Когда снаряд готов, начинается новый этап его химического вооружения: его подготовка к взрывной химической реакции, его начинка химическими соединениями. Сколько нужно самых различных веществ, чтобы бесперебойно работала мастерская или завод, чтобы точной была обточка артиллерийского снаряда, бомбы или мины, чтобы безошибочно работала ударная головка или расположенный в мине часовой механизм!

Но победа готовится не только на военных заводах, в мастерских и на фабриках военного снаряжения; она куется во всей стране в бесперебойной работе всего народа, начиная от рабочих у станка, с колхозников у трактора или комбайна и кончая учеными в лабораториях.

## **Прошлое и будущее геохимии**

## ***Из истории геохимических идей***

Мне не хотелось бы, чтобы читатель думал, что вот теперь нам уже все ясно, все известно, что все элементы открыты... Не хочется, чтобы показалось, что легко далась наша знания, что наука о химии вещества выросла сама собой, без борьбы и исканий, без упорных и долгих трудов.

Нет, друзья, – прошлое науки учит тому, что многие сотни лет за ее научные истины боролись тысячи людей, они искали новых путей, ошибались, работали днями и ночами в подземельях старых лабораторий, боролись против невежества, гнета церкви и монастырей, боролись за понимание природы.

И далось это понимание не сразу!

Как-то, помню, стояли мы на берегу озера Вудъявр на Кольском полуострове. Перед нами был город, к нему вела шоссейная дорога, по которой то и дело проезжали автомобили<sup>[66]</sup>. И я лишь с трудом мог вызвать в своем воображении картину той дикой и неприветливой тундры, почти безжизненной, холодной, какой я ее увидел в первый раз, в 1920 году.

Приезжий, глядя теперь на людной город, прямые, широкие шоссе, мчащиеся по ним грузовики – на край, обжитый людьми, не может представить себе, что еще так недавно здесь была глухая тундра. Но подумал ли он о тех пионерах-исследователях, которые проходили здесь по заброшенным тропам в поисках руд и минералов? И о том, каких подчас тяжелых лишений и трудов стоило разведать богатства, скрытые в суровой тундре, чтобы вызвать к жизни этот край?

Так и в науке: изучая достижения современной научной мысли, глядя с завоеванных вершин на заманчивые перспективы ближайшего будущего, мы забываем о том, как трудно, медленно, с какими жертвами и лишениями были расчищены дремучие леса невежества и незнания.

Наука, которую мы называем геохимией, – это история химических элементов нашей планеты. Она могла окончательно сформироваться лишь в новейшее время, когда понятие об атомном строении материи стало реальностью и наука глубоко проникла в строение атома, в основных чертах выяснила его структуру.

Возникновение современной геохимии относится к началу XX столетия. Однако в широком смысле геохимические идеи, рассматривавшие понятие химического элемента, касавшиеся химического состава минералов и признаков отыскания руд и полезных минералов, существовали и развивались в течение последних трех-четырех столетий.

Основа геохимии – минералогия – и химия в своем развитии прошли много этапов, прежде чем достигли современного состояния.

В борьбе за существование человек уже в доисторические времена научился находить такие камни, которые могли служить ему для приготовления оружия и орудий производства; уже тогда его воображение поражала и красота самоцветов.

На более высокой ступени развития человека стало интересоваться, что такое Земля, как она возникла. Стали зарождаться сказания о происхождении мира, или так называемые космогонии, медленно и постепенно сменявшиеся более положительными воззрениями. Уже довольно развитые представления мы встречаем у таких мыслителей, как Демокрит, Аристотель, Лукреций.

Любопытны взгляды Фалеса из Милета, жившего в конце VII века до нашей эры, отца греческой философии. Он учил, что вода – начало всех стихий, что из нее путем сгущения и испарения возникают все элементы мира, сам мир и то, что в нем рождается.

Возникли и противоположные точки зрения. Так, например, по мнению Гераклита, жившего за 500 лет до нашей эры, огонь проникает во все, производит отдельные предметы и вновь их поглощает; огонь превращается в море, которое в свое время выделяло землю и жар.

У Эмпедокла, обитателя Сицилии, находим первую догадку об огненно-жидком ядре Земли, основанную на знакомстве с вулканами и горячими источниками. Но он производил все существующее не из одного огня, а из четырех элементов, или стихий: земли, воды, воздуха и огня, которые не уничтожаются, но постоянно изменяются.

Несколько позднее Демокрит – создатель учения о постоянно движущихся, вечно неразрушимых мельчайших частицах, или атомах, отчасти примирил противоречия своих предшественников.

Особенно интересны взгляды величайшего натуралиста древности – Аристотеля (384–322 гг. до н. э.), уже считавшего Землю шарообразной: Вселенная имеет форму шара, а Земля, как самая тяжелая, занимает центр; вокруг нее расположены вода, а затем воздушная оболочка, образующая геосферы. Самый легкий элемент – огонь, а далее идет эфир. Земля, воздух, вода, огонь и эфир составляют пять элементов-качеств.

Аристотель отвергал учение Демокрита об атомистическом строении материи, выдвигая вместо этого представления об элементах-качествах и о первичной бескачественной материи. Он допускал возможность превращения одних металлов в другие и их произрастание в недрах Земли. Этим Аристотель создал предпосылки для последующего развития алхимии. Несмотря на ошибочность многих представлений Аристотеля, его влияние на развитие естественных наук было исключительно велико.

Ученик Аристотеля Теофраст (371–286 гг. до н. э.) в своей книге «Трактат о камнях» дал первые списки известных в то время минералов и сделал

попытку их классификации на 3 группы: металлы, камни и земли. Его с полным правом можно считать основателем не только минералогии, но и науки о почвах и растениях.

В I в. н. э. выделяется замечательное для своего времени сочинение римского исследователя – Плиния Старшего, погибшего при извержении вулкана Везувия в 79 году. В этой работе наряду с фантастическими преданиями сообщается много верных сведений о минералах, названия которых отчасти сохранились и до наших дней.

С наступлением Средних веков развитие точных знаний в Европе приостановилось. В это время естественные науки и химия развивались преимущественно на Востоке.

В своеобразных трактатах арабских мыслителей IX–X веков мы находим указания на сосуществование отдельных металлов в природе. Так, Лука бен Серапион в предисловии к своему сочинению «Книга о камнях» говорил о том, что «попадают камни, кои встречаются вместе с другими, камни, кои от других бегут, камни, которые другим изменяют, равно как камни, кои другие окрашивают».

Несомненно, поиски руд, обработка их и получение металлов и сплавов наводили на мысль о совместном нахождении химических элементов. Возникшие при этом обобщения о любви и ненависти между различными веществами были первыми геохимическими законами, не потерявшими своего значения и до сих пор.

Интересен труд философа Ибн Сины (Авиценны), родом из Бухары (985–1037), написавшего трактат о минералах, в котором он классифицирует их на: 1) камни и земли, 2) горючие и сернистые соединения, 3) соли, 4) металлы.

Другой выдающийся ученый Аль-Бируни (973–1048), родом из Хорезма, написал замечательную книгу на арабском языке – «Собрание сведений о познании драгоценных минералов», в которой он обобщил все минералогические данные того времени.

Сочинения по алхимии на арабском языке, появившиеся в IX веке, имеют большое значение в истории развития химии, поскольку в них впервые излагаются задачи подлинно химических методов исследования.

Алхимики главным образом занимались синтезом, то есть пытались получать новые вещества из уже им известных. Колыбелью алхимии была Александрия, откуда химические знания и навыки проникли в Сирию. От сирийцев алхимия перешла к арабам, которые занесли ее в Европу через Испанию.

Под алхимией обычно понимают обманное искусство делать золото из различных других металлов. Действительно, средневековые алхимики преимущественно занимались попытками облагораживания обычных металлов, стремясь превратить их в серебро или золото. Однако они решали не только эти задачи. Они занимались также поисками

целительных средств и «философского камня». Если, говорили алхимики, внести в тело человека, заболевшего благодаря неправильному смешению соков организма, лекарство, которое вызывает правильное соотношение соков, то человек выздоравливает. Почему же невозможно при помощи тинктуры или порошка излечить «больные металлы»? Если только найти соответствующее вещество, надлежащим образом его обработать, то должно быть возможно при помощи искусства смешения быстро превратить простые металлы в благородные.

Постепенно неудачные опыты по превращению металлов заставили алхимиков искать иные применения своего искусства. Их внимание концентрируется на здоровье человека, и алхимия становится прислужницей медицины. Рождается медицинская химия, или ятрохимия. Крупнейшим ятрохимиком в Средние века был Парацельс (1493–1541).

Но хотя алхимиков и обвиняли в шарлатанстве, они принесли огромную пользу развитию химии, так как ими было произведено бесконечное количество разнообразных химических опытов, и, несмотря на то что их исходные мысли были неверны, они добивались крупных результатов.

Очень хорошо писал об алхимиках знаменитый философ Лейбниц: «...это обыкновенные люди большого воображения, а также опыта, но у них несогласие между воображением и опытом. Они питаются чистыми надеждами, что доводит их до гибели или выводит их на всеобщее посмешище. А на деле такие люди нередко знают из опыта и наблюдений природы больше фактов, чем иной уважаемый ученый».

Наступает эпоха Возрождения. Она знаменует собой переход к новому, более высокому этапу культуры.

Первым толчком для развития минералогии послужил расцвет горной промышленности в Семиградии (Венгрии), в Саксонии и Богемии.

Замечательными работами Агриколы (1494–1555) – врача и минералога в саксонском горном центре – было положено начало точному и углубленному пониманию объектов минералогии и геохимии. Его настоящее имя – Георг Бауэр. Он оставил многочисленные сочинения, представляющие собой сводку знаний того времени по рудным месторождениям. Самые замечательные его книги – «*De natura fossilium*» («О природе окаменелости», 1546) и «*De re metallica*» («О царстве металлов», 1556). Его классификация минералов уже приобретает научный характер. Впервые в нее входит понятие о сложности соединений, то есть химические принципы. Эта система легла в основу всех дальнейших минералогических работ до XVIII столетия включительно. Шведский химик и минералог Йёнс Якоб Берцелиус (1779–1848) занимался химическими анализами минералов и первый дал настоящую химическую классификацию их, а также первый ввел термин – «силикаты».

Большая роль в истории геологии и минералогии принадлежит научным обществам и академиям, особенно самой старой Академии – Academia del Cimento, которая была основана в 1657 году. В 1662 году было организовано Королевское общество в Лондоне, до сих пор являющееся Академией Великобритании.

Начиная с конца XVII и особенно начала XVIII века, научные общества и большие кунсткамеры-музеи получили широкое распространение. Огромную роль в развитии науки сыграли шведская академия наук и затем русская, основанная в 1725 году в Петербурге. В России геохимические идеи получили впервые яркое выражение в гениальных работах М. В. Ломоносова (1711–1765): «О слоях земных», «Слово о рождении металлов». Ломоносов впервые устанавливает странствование металлов и минералов. «Металлы с места на место переходят» – был его гениальный вывод. Он заложил фундамент новому представлению о минерале как о продукте, получающемся в результате жизни земной коры, представлению, которое в XX веке легло в основу новой науки – геохимии.

О Ломоносове написаны десятки книг, сотни статей; самые крупные исследователи, мыслители, ученые, писатели и поэты посвятили лучшие свои страницы анализу работ этого богатыря русской мысли, и все же нельзя исчерпать данную тему – так бесконечно широк и глубок был гений архангельского помора – Михайлы Ломоносова.

Перед нами могучая фигура закаленного в борьбе с полярной природой титана «с благородной упряжкой», не позволявшей ему сгибаться ни перед кем и ни перед чем.

Смелость, решительность, дерзание, граничащее с бурной фантазией, жажда знания «всего и вся», знания до корней и до начала всех начал, способность к глубокому философскому анализу в сочетании с блестящим умением ставить эксперименты, без которых он не мыслил науки, – таков был Ломоносов. И если семь городов древности спорили о том, кому принадлежит честь называться родиной Гомера, то более десятка различных наук и искусств спорят о том, кому принадлежит главное наследие Ломоносова: физика и химия, минералогия и кристаллография, геохимия и физическая химия, геология и горное дело, география и метеорология, астрономия и астрофизика, краеведение и экономика, история, литература, языкознание и техника. Действительно, Ломоносов сам был «целым университетом», как говорил о нем А. С. Пушкин.

Если современники не понимали Ломоносова, то уже появлялись новые поколения, уже росли те, кого он так пламенно учил и призывал:

О вы, которых ожидает  
Отечество от недр своих  
И видеть таковых желает,

Каких зовет от стран чужих,  
О ваши дни благословенны!  
Дерзайте, ныне ободренны,  
Рачением вашим показать,  
Что может собственных Платонов  
И быстрых разумов Невтонов  
Российская земля рождать.

С тех пор прошло 200 лет, и только сейчас на наших глазах его гениальные предвидения и дерзкие теории воплощаются в величайшие научные истины, и его заветные мечты о величии и славе Родины стали претворяться в жизненную реальность.

Ломоносов понимал науку не только как простое описание явлений, а как их объяснение. Он считал, что нужно изучать не тела сами по себе, а их внутреннее строение, причины, которые вызывают это строение, и силы, которые действуют внутри вещества. Он понимал, что вся наука во всех ее проявлениях зависит от решения единой великой задачи – что такое вещество? Как оно построено и из чего состоит?

И Ломоносов приходит к заключению, что вещество состоит из отдельных частиц, которые обладают особым притяжением, силой инерции, движением; одни из них поменьше – это простые атомы, другие побольше – молекулы. Все они невидимы глазу, находятся в состоянии постоянного движения и вращения. Это замечательное суждение, в сущности, полностью отвечает современному атомистическому мировоззрению.

Почти за полвека до великого французского химика Лавуазье Ломоносов доказывает, что ничто в природе не может теряться, и этим он, в сущности, устанавливает великий закон природы – закон сохранения вещества и энергии.

Постепенно вникая в изучение природы первоначальных частичек, через физику Ломоносов приходит к химии... Химия – это наука об изменениях, происходящих в составе тела, то есть наука, зависящая от явлений физики и механики.

В блестящем своем «Слове о пользе химии», прочитанном в общем собрании Академии наук в 1751 году, он открывает грандиозные перспективы новой химии; он отрекается от старых идей алхимиков, рождающихся в их таинственных лабораториях; он закладывает новое здание химии, в котором господствует число и вес, и законы математики. Эти идеи он осуществляет и на практике.

В 1748 году после многолетней борьбы он наконец организует в Петербурге на Аптекарском острове первую в России научную химическую лабораторию, где ведет точный учет меры, веса и пропорций вещества.

В 1752–1753 годах Ломоносов читает первый в мире курс «физической химии». «Широко распространяет химия руки свои в дела человеческие», – говорит он и упорно работает над тем, чтобы удовлетворить практические запросы своей страны. Он получает новый состав оптического стекла; после трех тысяч опытов начинает изготавливать цветную смальту для мозаики, строит специальную мозаичную фабрику, изучает состав минералов Урала, занимается проблемами селитры и фосфора.

Среди первых задач, поставленных новой экспериментальной лабораторией, Ломоносов намечает приготовление чистых веществ. Это приводит его к изучению чистых металлов, солей, селитры, и старые уроки технологии и минералогии воскресают в новом виде. Для него минерал есть смешение первоначальных частиц, и его свойства зависят от «взаимного союза частиц».

Камень так же, как и всякое другое вещество, имеет свою историю жизни и смерти, и Ломоносов призывает к изучению природных минералов новыми методами.

Условия образования минералов он связывает с геологическими процессами, ищет их разгадки в глубинах, в расселинах вулканов, насыщенных раскаленными парами серы, на поверхности он видит зарождение камней в остатках животных, растений. Так в представлениях Ломоносова, замечательно сочетавшего в себе естествоиспытателя, натуралиста и философа-химика, камень оживает в свете новых идей.

Вот что пишет М. В. Ломоносов в своей замечательной книге «О слоях земных» 1763 года: «Вот каковы земные недра; вот слои, вот прожилки других материй, кои произвела в глубине натура. Пускай примечают их разное положение, цвет, тягость, пускай употребляют в размышлении совет от математики, от химии и обще от физики».

Это уже не старая скучная описательная минералогия, а новая наука – геохимия, химия Земли. И подобно тому как впервые в истории научной мысли на границах между физикой и химией он закладывает мощное здание физической химии, так на границах химии и геологии он зачинает новую науку, у которой в то время еще не было имени.

Надо было, чтобы прошло еще 70 лет, пока слово «геохимия» впервые в 1838 году прозвучало в устах крупнейшего натуралиста начала XVIII века, швейцарского химика Христиана Фридриха Шёнбейна (1799–1868), который спустя 4 года писал:

«Уже несколько лет тому назад я публично высказал свое убеждение, что мы должны иметь геохимию прежде, чем может идти речь о настоящей геологической науке, которая, ясно, должна обращать внимание на химическую природу масс, составляющих наш земной шар, и на их происхождение, по крайней мере, столько же, сколько на относительную древность этих образований и в них погребенных

остатков допотопных растений и животных. С уверенностью можно, конечно, утверждать, что геологи не вечно будут следовать тому направлению, последователями которого они сейчас являются. Они для расширения своей науки, как только окаменелости не смогут достаточно служить им, должны будут искать новые вспомогательные средства и, без сомнения, тогда введут в геологию минерало-химические пути исследования. Время, когда это совершится, кажется мне не столь далеким».

И здесь история науки рассказывает нам, как в результате предшествующего развития мысли создано и новое понятие и новый успех.

Для того чтобы широкие химические закономерности могли быть надежно обобщены в геохимические законы, чтобы они из гениальных догадок превратились в твердо установленные и проверенные научные обобщения, потребовалась длительная и кропотливая работа над фактами.

Огромная заслуга в этом направлении принадлежит великому русскому ученому Дмитрию Ивановичу Менделееву (1834–1907), который открытием закона периодичности свойств химических элементов подвел реальное основание под бесплодную до тех пор мысль о единстве строения всей Вселенной.

Д. И. Менделеев как ученый-химик начинает свою деятельность в пятидесятые годы XIX столетия, когда стала энергично развиваться русская промышленность. И Менделеев, горячо любя свою родину, не отгораживается от практики, а занимается ею со всей присущей ему энергией.

Он пишет об использовании нефти, каменного угля, об их запасах и происхождении, находит состав бездымного пороха, изучает возможности развития железной промышленности.

Конечной целью научного изучения он считает «предвидение и пользу».

Главный труд Д. И. Менделеева – это «Основы химии», изданные впервые в 1869 году, выдержавшие при его жизни 8 изданий и неоднократно издававшиеся после его смерти.

Эту книгу Дмитрий Иванович считает своим любимым детищем. «В них мой образ, мой опыт педагога и мои задушевные научные мысли».

«В „Основах химии“ вложены мои духовные силы и мое наследие детям», – писал он в 1905 году.

Открытие Периодической системы химических элементов, безусловно, указало новые пути развития химии и принесло Дмитрию Ивановичу Менделееву мировую известность.

Замечательную оценку дал этому закону Ф. Энгельс. Он говорил: «Менделеев доказал, что в рядах сродных элементов, расположенных по

атомным весам, имеются различные пробелы, указывающие на то, что здесь должны быть еще открыты новые элементы. Он наперед описал общие химические свойства одного из этих неизвестных элементов... Несколько лет спустя Лекок де Буабодран действительно открыл этот элемент... Менделеев, применив бессознательно гегелевский закон о переходе количества в качество, совершил научный подвиг...»<sup>[67]</sup>

Менделеев предсказал новые химические элементы, исправил атомные веса и дал правильные формулы многим химическим соединениям.

Менделеев первый уподобил атомы небесным телам – звездам, Солнцу и планетам – и предположил, что строение атома сходно со строением небесных систем, вроде солнечной или системы двойных звезд.

Для геохимии периодический закон явился той основой, которая сделала возможным систематическое изучение законов сочетания химических элементов в природных условиях.

Закон был открыт. Но для того чтобы объяснить его, указать его смысл и значение для всего нашего миропонимания, нужно было, чтобы прошло еще 75 лет, чтобы прошел период грандиозной исследовательской работы, период борьбы различных течений; нужно было, чтобы проделаны были новые многочисленные эксперименты.

Устанавливая глубочайшие связи между химическими и физическими явлениями, Менделеев осуществил знаменитые слова Ломоносова: «Химик без знания физики подобен человеку, который всего искать должен оцупом. И сии две науки так соединены между собой, что одна без другой в совершенстве быть не могут».

Почему периодический закон химических элементов играл, играет и будет играть такую исключительно важную роль в истории науки? Потому что таблица Менделеева очень проста и представляет собой простой ряд природных фактов, правильно сопоставленных друг с другом в определенной пространственной, хронологической, энергетической и генетической связи. В ней нет ничего придуманного. Она – сама природа. Доступный нашему восприятию окружающий нас реальный мир веществ есть, в сущности, грандиозная таблица, развернутая по длинным периодам, разбитая на отдельные части.

Будут, конечно, появляться и умирать новые теории, блестящие обобщения и новые представления будут сменять устаревшие понятия; величайшие открытия и эксперименты будут далеко превосходить все прошлое и открывать невероятные по новизне и широте горизонты – все это будет приходить и уходить, но периодический закон Менделеева будет всегда жить, развиваться, уточняться и руководить исканиями.

Менделеев в своих работах призывал всех к дальнейшему развитию закона.

В одном из введений к «Основам химии» он писал: «Зная, как свободно и радостно живется в научной области, невольно желаешь, чтобы в нее

вошли многие, и этому я подчиняю свое изложение. Поэтому невольно многие места моей книги полны желанием, чтобы химическое мирозерцание, которое я старался развивать у читателей, побудило их к дальнейшему изучению науки. Набор на службу науке молодого поколения пусть не страшит тех, которые понимают настоятельную необходимость родины в практической деятельности – в области сельского хозяйства, промышленности и заводского дела. Лишь тогда, когда узнаются истины сами по себе в своей абсолютной чистоте, они могут прилагаться к жизни».

Этот призыв к молодому поколению всегда звучал у Менделеева. К нему на лекции стекались студенты всех факультетов. Его слово подчиняло себе слушателей, и аудитория была полна. Студенты приходили послушать не готовые схемы, а послушать, как думает, мыслит и творит великий учитель.

В XIX веке изучение химического процесса поставило минералогию в связь с физической химией и влило новое, более точное содержание в понимание тех перегруппировок химических атомов, которые идут в земной коре.

Это течение, укрепившееся в последние годы XIX века, подготовило почву для геохимических идей, выдвинув необходимость при анализе процесса образования минералов обращать внимание на те элементы, из которых они слагаются.

И тем не менее геохимия не могла родиться, пока оставалось неясным само представление об атоме, элементе или кристалле.

Только периодический закон Менделеева, успехи физики и особенно кристаллографии сделали атом реальностью, кристаллографическую решетку – фактически – явлением природы, а элемент с его свойствами связали со строением атома.

Почва для создания геохимии была готова, но нужно было еще огромное количество фактов и наблюдений, надо было наладить огромную экспериментальную работу в ряде институтов, где даже не сотни, а тысячи определений, сложных и трудных, намечали правильные пути работы. Только эти новые фактические завоевания, объединившись с завоеваниями теоретической мысли физика и кристаллографа, открыли пути перед современной геохимией.

И ныне, трудами по преимуществу русских, а также норвежских и американских исследователей, создалась эта самостоятельная научная дисциплина, имеющая целью изучение атома и его судеб в реальной обстановке окружающей нас природы.

Геохимия, в противоположность другим геологическим дисциплинам, изучает не судьбы и свойства молекул, химических соединений, минералов, горных пород или их геологических комплексов; она изучает судьбы самого атома, прежде всего в условиях земной коры, доступных

точному эксперименту; она изучает его поведение, перемещения, миграции, сочетания, рассеяния и концентрации. При этом всю длинную и сложную историю каждого элемента менделеевской таблицы она призвана не только очертить и выявить, но и связать со свойствами его атомов, от которых и зависит жизненная судьба элемента.

Точное определение и развитие геохимия получила в нашей стране, и русские ученые сыграли здесь исключительную роль. При этом были достигнуты такие успехи, что в мировой геохимической науке советская геохимия вполне заслуженно заняла почетное место.

Начало русской школе геохимии было положено в Московском университете академиками В. И. Вернадским и автором этой книги – А. Е. Ферсманом.

Среди химиков и геологов в Америке, Германии и Норвегии создалась своя школа, но ее работы носили несколько иной, более узкий характер.

В особенности следует отметить геолога из Вашингтона Франка Кларка (1847–1931), который в 1908 году опубликовал свою работу – «Данные о химии Земли» («Data of geochemistry»). Кларк 36 лет занимался сбором химических анализов пород и минералов и в своей книге, критически переработав значительный фактический материал, сделал обобщающие выводы о среднем химическом составе различных земных пород и всей земной коры в целом.

Но Кларк не рассматривал свои данные как основу для изучения земных процессов.

Большое влияние на развитие геохимии оказали норвежские ученые Иоганн Фогт (1858–1932) и Виктор Мориц Гольдшмидт (1888–1947).

Фогт положил основание физико-химической петрографии, имевшей большое значение для изучения магматических процессов и давшей широкие возможности для подсчета химического состава земной коры.

Тесно связывая кристаллографию с физикой твердого тела, В. М. Гольдшмидт сыграл большую роль в зарождении современной кристаллохимии и сделал особенно много в области изучения геохимии глубоких оболочек земной коры. Широко известна серия его работ – «Законы распределения химических элементов в земной коре».

В отличие от Кларка и Гольдшмидта, русская школа геохимиков широко применяет идеи геохимии для разрешения практических вопросов.

Наши геохимики всюду стараются следовать завету М. В. Ломоносова – вносить в анализ окружающей природы «совет от математики, физики и химии», давая также углубленный геохимический анализ Периодической системы Д. И. Менделеева.

Крупнейшим исследователем живой и мертвой природы, творцом новых научных течений, создателем русской минералогии и мировой геохимии является академик Владимир Иванович Вернадский.

Владимир Иванович Вернадский учился на физико-математическом факультете Санкт-Петербургского университета и окончил его в 1885 году.

Выдающуюся роль в жизни университета играл в те годы молодой Д. И. Менделеев. Это были годы расцвета его таланта.

К лекциям Менделеева по химии страстно прислушивался молодой Владимир Иванович, увлекавшийся новыми мыслями своего учителя. Он уже тогда оценил значение эксперимента в точном знании.

В эти замечательные годы борьбы за науку огромное влияние на В. И. Вернадского оказал В. В. Докучаев. На его лекциях В. И. Вернадский научился понимать значение точного знания и точного метода исследования.

Из классического труда Докучаева «Русский чернозем» Владимир Иванович почерпнул глубокую идею о почве как особом естественно-историческом теле, и многие его мысли в биогеохимии возникли под влиянием научных идей В. В. Докучаева.

Весь долгий жизненный путь (1863–1945) Владимира Ивановича – это путь упорного труда и яркой творческой мысли, путь, открывающий целые новые области в науке и наметивший новые направления естествознания в нашей стране.

Владимир Иванович сыграл огромную роль и как историк науки, ставивший всегда исторический принцип и исторический метод в основу естествознания.

И от своих учеников он требовал всегда глубокого освещения истории вопроса. Он говорил: «Мы, естествоиспытатели, должны учиться у историков глубоким историческим методам понимания прошлых судеб человечества. Только используя эти методы, мы сможем сделаться историками природы».

Более 20 лет жизни В. И. Вернадского, с 1890 по 1911 год, были связаны с Московским университетом, где он работал профессором минералогии и кристаллографии.

Нужно сказать, что преподавание минералогии в Московском университете до Владимира Ивановича ограничивалось скучным описанием минералов. Коллекции были в беспорядке. В. И. Вернадский не только приводит эти коллекции в порядок, но и обогащает их собственными экспонатами, собранными во время многочисленных экскурсий и путешествий. Он очень часто путешествовал по России и за границей вместе со своими учениками, придавая этим экскурсиям большое значение в деле подготовки будущих ученых. В. И. Вернадский коренным образом перестроил преподавание минералогии: вместо сухой описательной дисциплины он создал химическую минералогию на исторической основе и отдельно вел курс кристаллографии. Вернадский создал первый научный минералогический кружок, охвативший всех

минералогов Москвы. Вместе с тем он вводит в практику своих сотрудников и учеников обязательное выполнение экспериментальных работ по физико-химическому описанию химических соединений и минералов, сыгравшее огромную роль в деле создания школы минералогов-натуралистов.

Так возникли истоки русской химической минералогии, а затем и геохимии, и создавалась блестящая школа учеников В. И. Вернадского – минералогов-геохимиков в Московском университете.

В результате широко задуманных и планомерных исследований и ознакомления с многочисленными месторождениями различных минералов в 1906 году появляется первый выпуск его многотомного издания – «Опыт описательной минералогии» – фундаментального классического труда по минералогии, оконченого в 1918 году.

В 1909 году Владимир Иванович Вернадский был избран действительным членом Академии наук. В 1911 году он переезжает в Петербург.

Начался новый этап его жизни; если первые 20 лет были годами создания новой научной школы, то последующие годы – петербургского периода – были годами крупной организационной и научной работы.

Переход этот был отнюдь не легким. Владимир Иванович долго скучал по Москве. Он отказался от педагогической деятельности и стремился всецело отдалиться научно-исследовательской работе, сосредоточивая ее в стенах Академии наук. Владимир Иванович вошел в Академию тогда, когда геология возглавлялась А. П. Карпинским – величайшим русским ученым, положившим начало изучению геологического строения Русской равнины.

В. И. Вернадский широко проводил спектроскопические исследования распространения редких и рассеянных химических элементов в породах и минералах России и первым поднял вопрос о необходимости широкого, планомерного изучения явлений радиоактивности на территории России.

В 1922 году вместе с академиком В. Г. Хлопиным он создал Радиевый институт, где была разработана точная методика определения возраста горных пород по свинцу и гелию.

Как будто сегодня звучат слова, сказанные Владимиром Ивановичем: «Мы подходим к великому перевороту в жизни человечества, с которым не может сравниться все им раньше пережитое. Недалеко время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет. Это может случиться в ближайшие годы, может случиться через столетие. Но ясно, что это должно быть. Сумеет ли человек воспользоваться той силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение? Дорос ли он до умения использовать ту силу, которую неизбежно должна дать ему

наука? Ученые не должны закрывать глаза на возможные последствия их научной работы, научного процесса. Они должны себя чувствовать ответственными за последствия их открытий. Они должны связать свою работу с лучшей организацией всего человечества» («Очерки и речи», 1922).

В результате он создает в науке новое, радиогеологическое направление, а радиевые работы получают большой научный размах. Несколько позднее он начинает печатание многотомного труда – «История минералов земной коры» (1923–1936), представляющего исключительный научный интерес. К сожалению, труд этот остался незаконченным. В это же время он сводит в единое целое свои замечательные геохимические идеи и издает книгу под названием «Очерки геохимии» (1927–1934).

В своем труде Владимир Иванович показал на ряде отдельных элементов, как важно отойти от старой точки зрения изучения минералов как сложных молекул и перейти к изучению атома и его путей миграции в Земле и космосе.

В 1929 году он создает в Академии наук Биогеохимическую лабораторию и становится основоположником новой ветви геохимии – биогеохимии. Эта наука занимается изучением химического состава живых организмов и участия живого вещества и продуктов его разложения в процессах миграции, распределения, рассеяния и накопления химических элементов в земной коре.

В 1935 году Академия наук была переведена в Москву. Наибольшее внимание во второй московский период своей деятельности (1935–1945) В. И. Вернадский уделяет работам Биогеохимической лаборатории; он ведет исследования по биохимической роли углерода, алюминия, титана и ставит вопрос о необходимости создания геохимической карты биосферы.

Более ста лет тому назад было сказано слово «геохимия», но настоящая геохимическая наука родилась лишь в последние 30 лет, в годы новых бурных исканий; и на этом пути особую роль играла и играет сейчас советская наука, которая смело идет вперед, развивая новые отрасли знания, и в своих достижениях и устремлениях сочетает теорию с практикой.

## ***Как давались названия химическим элементам и минералам***

Вот вопрос, который всех нас должен интересовать. Ведь нелегко запомнить сотни и тысячи разных названий элементов, минералов, горных пород. А если бы узнать смысл каждого названия – пожалуй, запомнить было бы легче.

Может быть, кому-нибудь из читателей попадалась в руки моя книжка «Воспоминания о камне», где приводится шуточный рассказ о том, как давались названия новым минералам и новым станциям Кировской железной дороги. Особенно были высмеяны там старые железнодорожники, которые называли, например, станцию Африканда только потому, что они приехали туда в очень жаркий, как в Африке, день.

Другую станцию называли Титаном, хотя около нее нигде не было найдено ни следа руд этого металла<sup>[68]</sup>.

Однако надо сознаться, что так поступали не только наши старые железнодорожники – так поступали и поступают химики и минералоги, когда открывают что-либо новое: каждый дает название, какое захочет; а между тем нам сейчас приходится точно запоминать эти названия. Правда, в химии это проще – там всего известно около сотни химических элементов, которым и надо было придумать названия. Много сложнее обстоит дело в минералогии, где уже сейчас мы знаем около трех тысяч минералов, да каждый год открывается двадцать – тридцать новых. Давайте же разберем сначала названия тех химических элементов, на которых построена вся химическая наука; из первых букв этих названий на латинском языке и составились химические значки: Fe («феррум» – «железо»), As («арсеникум» – «мышьяк») и так далее. Чаще и охотнее всего химики и геохимики называли вновь открытые элементы по названию той страны или города, где было сделано открытие или где впервые было найдено соединение данного вещества.

Для нас поэтому совершенно понятны такие названия, как европий, германий, галлий (от старинного названия Франции – Галлия), скандий (Скандинавия), их хорошо можно запомнить, но гораздо хуже с другими названиями, в которых использованы какие-либо древние наименования стран или городов. Иногда очень трудно догадаться, откуда произошли названия.

Так, когда в 1924 году в Копенгагене открыли новый элемент, его назвали гафнием по старому, никому не известному названию столицы Дании. Подобным же образом дано название лютецию, который получил свое имя по древнему названию Парижа. Металл тулий получил свое имя от старого скандинавского названия Швеции и Норвегии.

Металл рутений, который был найден у нас в Казани химиком Р. Клаусом, получил свое имя в честь России, но, к сожалению, многие даже опытные химики не догадываются, что термин «рутений» означает «русский».

Очень интересно то, что произошло с одной полевошпатовой копьей около Стокгольма в Швеции; пегматитовая жила Иттерби дала огромное количество новых элементов, и из различных вариантов ее имени получились названия: «иттербий», «иттрий», «эрбий» и «тербий». Очень много названий химических элементов дано было на основании их

физических и химических свойств. Это казалось бы более рациональным, но такие названия делаются понятными и запоминаются лишь теми, кто хорошо знает древнегреческий или латинский язык.

Так как целый ряд химических элементов был открыт на основании цветных линий в спектрографе, то они получили название по цвету этих линий: индий – по синей линии, цезий – по лазорево-синей, рубидий – по красной, таллий – по зеленой. Другие элементы получили название по цвету своих солей, например хром – от греческого слова «цвет» – благодаря яркой окраске хромовых солей, или иридий – благодаря пестрой картине переливчатых цветов солей этого металла.

Очень многие химики, увлекавшиеся астрономией, назвали элементы по планетам или звездам. Таковы названия урана, палладия, церия, теллура, селена и гелия. Только последнее название имеет еще более глубокий смысл, так как гелий («гелиос» – «солнце») был открыт впервые на Солнце.

Еще большее количество имен дано было в честь богов и богинь древнего мира. Так, ванадий был назван в честь богини, кобальт и никель – вредные спутники серебряных руд – получили свои названия от злых гномов, якобы живших в саксонских рудниках.

Названия – «тантал», «ниобий», «титан» и «торий» – без особо глубоких оснований были взяты из имен древней мифологии. Сурьма в средние века называлась антимуаном, что, всего вероятнее, происходит от греческого слова «цветы», так как кристаллы сурьмяного блеска группируются в пучки, напоминающие цветы сложноцветных растений. По другой же версии, антимуан происходит от слова «противомонашеский», якобы потому что сурьма оказывает вредное влияние на затворнический дух монахов. Гораздо меньше внимания было уделено крупным мировым именам ученых-исследователей. В честь финского профессора Ю. Гадолина назван минерал гадолинит, а по минералу – и элемент гадолиний.

Название самария произошло от минерала, в котором он был открыт, – самарскита, впервые найденного в Ильменских горах на Урале и названного в честь инженера Самарского.

Рутений и самарий – два элемента, названия которых имеют чисто русское происхождение.

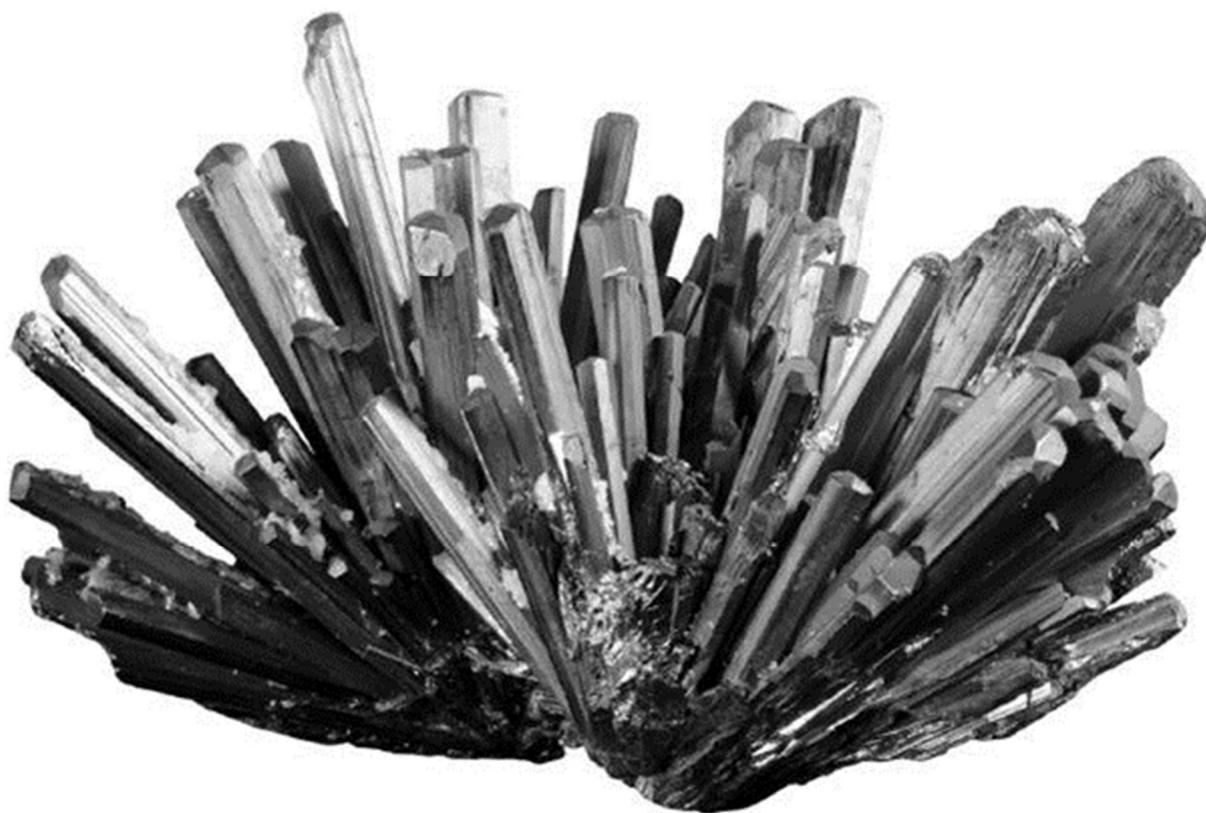
Однако, помимо всех этих сложных и мало обоснованных названий, около тридцати химических элементов имеют в корне своих имен различные древние арабские, индийские или латинские слова.

Много споров вызывает происхождение слов: «золото» («аурум»), «свинец» («плюмбум»), «мышьяк» («арсеникум») и других.

Вы видите, какой хаос и какой беспорядок! Греческие, арабские, индийские, персидские, латинские, славянские корни, боги, богини,

звезды, планеты, города, страны, фамилии – часто без всякого порядка и глубокой мысли.

Правда, были попытки ввести некоторый порядок в систему названий элементов, но последних так мало, что этого не стоит делать. Совсем другой вопрос – названия минералов.



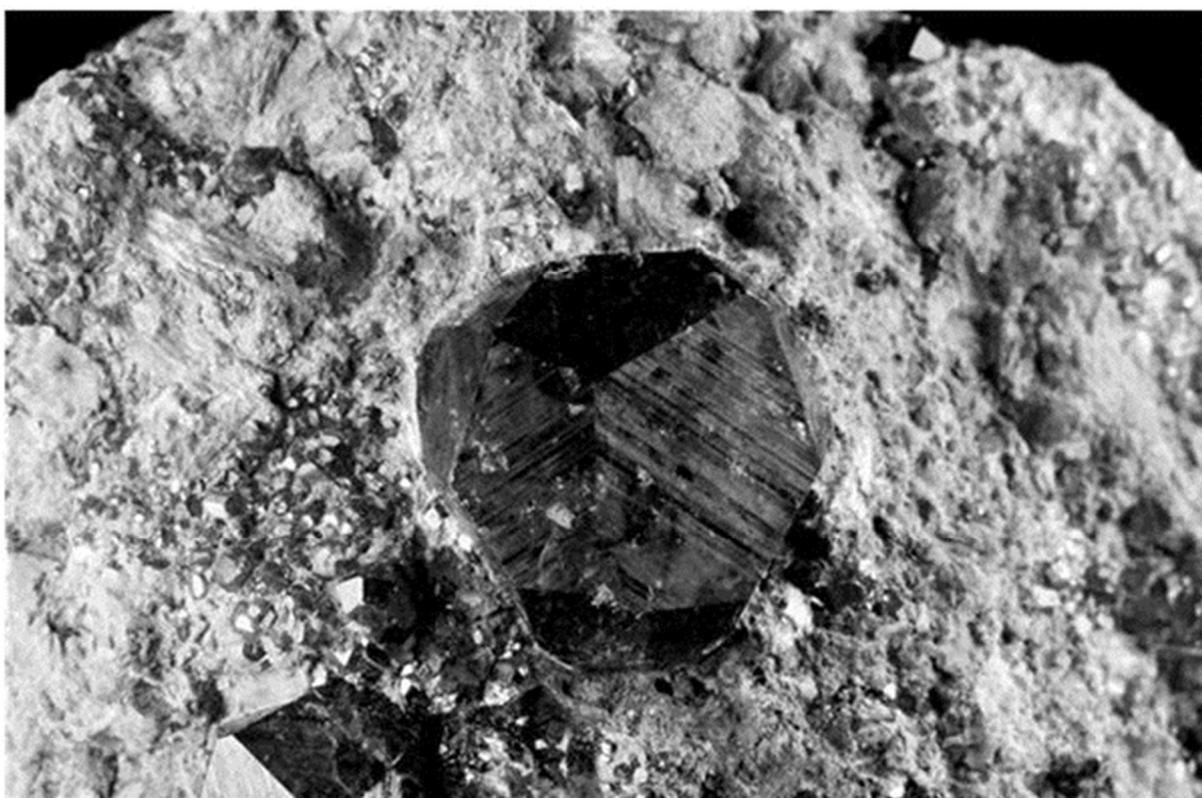
Стибнит, или сурьмяной блеск

Здесь геохимик и минералог должны коренным образом изменить свою практику: ведь каждый год приходится называть свыше 25 новых минералов, а между тем разве можно допустить, чтобы такие соединения, как лаурит, были названы именем невесты химика – Лауры, чтобы целый ряд минералов был назван из верноподаннических чувств в честь разных князей и графов, которые никакого отношения к минералам не имели, например уваровит. Наконец, некоторые названия так нелепы, что их с трудом может выговорить наш язык, например ампангабеит, названный по местности, где он был найден – на Мадагаскаре. Названия минералов – интереснейшая страница из истории минералогии и химии. До сих пор еще далеко не известно происхождение ряда названий минералов, и многие из них имеют свои корни в Древней Индии, Египте или Персии. Персия одарила нас бирюзой и изумрудом (смарагдом), древняя Греция – топазом и гранатом. Индия – рубином, сапфиром и турмалином.

Очень большое количество минералов было названо по месту их нахождения. Так, нам, советским людям, хорошо известны и понятны названия: «ильменит» (Ильменские горы на Южном Урале), «байкалит» (озеро Байкал), «мурманит»

(Мурманская область). Но самое для нас интересное название связано с Москвой – это московит, или мусковит, знаменитая калиевая слюда, играющая столь большую роль в электропромышленности. Очень много названий дано в честь известных исследователей, крупных химиков и минералогов. Упомянем шеелит, названный так в честь известного шведского химика Шееле, гётит – в честь поэта и минералога Гёте – и хорошо знакомые нам менделеевит и вернадскит.

Удачными надо признать и названия, данные минералам на основании их цвета, но тут обычно для понимания названия нужно знать латинский или греческий язык. Таковы, например, аквамарин (цвета морской воды), аурипигмент (окраска золота), лейцит (от греческого слова «белый»), криолит (от греческого слова «лед»), целестин (от латинского слова «небо»). Очень многие названия происходят от физических и химических свойств минералов. Так, блесками называются минералы сереброподобные, колчеданами – медно- или бронзоподобные, шпатами – минералы, которые обладают способностью раскалываться по некоторым направлениям (спайностью), обманками – такие минералы, которые содержат металл, о чем трудно догадаться по их обманчивому внешнему виду. Некоторые минералы называются смолками по их сходству со смолками.



## Кристалл граната



Кристаллы кальцита (известкового шпата)

Алмаз получил название от греческого слова «адамас», то есть «непреодолимый», «непобедимый», «несокрушимый». Наконец, нельзя не признать, что многие минералы получили правильное название по тем химическим элементам, которые преимущественно входят в их состав. Таковы, например, фосфорит, кальцит, вольфрамит, молибденит и др.

Но есть ряд названий, вызывающих особый интерес. С некоторыми из них связаны целые легенды; смысл других скрывается в недрах лабораторий алхимиков. Так, асбест получил свое название от греческого слова «несгораемый». Нефрит обязан своим названием средневековому заблуждению, что он будто бы излечивает болезни почек. Фенакит – «лживый» – назван так потому, что его красивая винно-красная окраска исчезает на солнце через несколько часов.

Апатит, или «обманщик», назван так потому, что его трудно отличить от других минералов; и, наконец, аметист носит свое название еще со средних веков, когда ему приписывали таинственное свойство служить защитой от пьянства.

Вы видите из нашего краткого описания, как сложно складываются названия минералов.

Неужели нельзя внести порядок в это дело? Неужели нельзя создать такую международную комиссию, которая утверждала бы названия новых минералов, заботясь о том, чтобы они своим смыслом отвечали свойствам минерала, чтобы их было легко запомнить, чтобы сами названия создавали некоторую систему и классифицировали сотни и тысячи минеральных видов?

Мы думаем, что в будущем пышном расцвете химических и геохимических наук найдется место и нашему маленькому предложению – подумать о том, чтобы не мучить школьника и студента длинными, трудно запоминаемыми, непонятными названиями, а давать названия, тесно связанные с характерными свойствами камня.

## ***Химия и геохимия в наши дни***

Мы живем с вами в годы исключительных достижений физики и химии.

Старый металл – железо – начинает заменяться другими или сочетаться с целым рядом редчайших металлических веществ.

Сложные соединения кремния в стекле, фарфоре, кирпиче, бетоне и шлаках приходят на смену старым железным конструкциям прошлого.

Органическая химия – химия углерода – достигла за последние годы грандиозных успехов, и большие фабрики и заводы уже заменили огромные поля индиго и каучуковые плантации.

На этих фабриках и заводах производятся синтетический каучук и краски из продуктов перегонки угля, которые уже сейчас не только заменяют природные растительные краски, но и дают значительно более широкую гамму цветов.

Действительно, весь мир идет по пути химизации науки, хозяйства и жизни. Химия проникает во все мелочи нашей обыденной жизни, во все частности сложнейшего аппарата промышленного производства.

И понятно, что вместе с этой химизацией идет все более и более широкое изучение природных богатств и минерального сырья, нужного в огромных количествах для хозяйства и промышленности.

Геохимия тесно сплетается с химией, и нередко трудно провести границы между этими двумя дисциплинами.

Создание специальных научно-исследовательских институтов и лабораторий является сейчас основой развития химической

промышленности; и мы с благодарностью вспоминаем слова знаменитого французского ученого-биолога Пастера, который еще в 1860 году говорил:

«Я умоляю вас, уделяйте больше внимания священным убежищам, именуемым лабораториями. Настаивайте, чтобы их было больше и чтобы они были лучше оборудованы. Ведь это храмы нашего будущего, нашего богатства и благосостояния».

В XX веке в нашей стране широко развернулась сеть научно-исследовательских институтов, работающих в области химии.

Были созданы мощные специальные химические институты. Многие из них работали и над геохимическими проблемами. Одни с успехом развивали технологические схемы использования алюминиевых руд, другие блестяще разрешали проблемы использования бора и его карбидов, а третьи широко развивали работу по изучению солей наших месторождений и ряда элементов – редких земель, платины, золота, ниобия, тантала, никеля и других.

Созданный для разработки более специальных проблем геологии Геохимический институт Академии наук СССР провел целый ряд исследований; и в результате работ этого института было заложено основание коллективной геохимической мысли в нашей стране.

В Менделеевском обществе, продолжающем славные традиции Русского физико-химического общества, широко проводится пропаганда химических идей; Менделеевское общество объединяет в своих учреждениях и филиалах несколько тысяч человек.

Нельзя не упомянуть здесь и о Всесоюзном минералогическом обществе, основанном в Петербурге в 1817 году и до сих пор интенсивно разрабатывающем проблемы минералогии, петрографии и учения о полезных ископаемых.

Геохимия получила широкое общественное признание, и геохимическая мысль стала проникать во все научные труды по изучению полезных ископаемых.

Один из наших химиков подсчитал, что за последние тридцать лет в журналах напечатано свыше миллиона научных работ по химическим дисциплинам; при этом только за последние годы число научных работ по химии достигает 60–80 тысяч. Для того чтобы следить за всей этой огромной литературой, существуют специальные журналы, которые реферируют все статьи, выходящие во всем мире и печатающиеся более чем на тридцати языках, почти в трех тысячах химических журналов.

Однако, когда мы говорим о многочисленных исследованиях, произведенных за последние годы, мы не должны забывать, что подавляющая их часть относится к соединениям углерода, что очень большое количество относится к чисто техническим проблемам и только

около двух процентов работ стоят ближе к проблемам геохимии, к вопросам изучения вещества в земной коре, его распространения, миграции, строения, его сочетания и образования в рудах тех концентраций, на которых работает наша промышленность.

В связи с ростом научной работы в научно-исследовательских институтах, общественных объединениях и с развитием издательской деятельности все глубже и шире стали намечаться основные задачи, стоящие перед химическими науками. Хотя уже прошло почти два столетия со дня смерти Ломоносова, тем не менее и сейчас, как основной лозунг химической работы может быть поставлен параграф первый его предисловия к лекциям по физической химии, читанным им в 1751 году: «Изучение химии может иметь двоякую цель, одной является усовершенствование естественных наук, а другую умножение благ жизни».

И действительно, химия вместе с физикой не только усовершенствовала естественные науки, но и открыла нам тайны природы, скрытые от наших глаз; наука и техника сумели раскрыть нам многообразие тех атомов, из которых слагается мир.

Благодаря успехам химических наук современная промышленность получает около пятидесяти тысяч соединений различных элементов, а число органических соединений, разработанных и изученных в лабораториях, доходит до одного миллиона. Беспредельно еще количество все новых и новых получаемых в лабораториях соединений.

Как грандиозны эти цифры по сравнению с теми 3000 соединений, которые мы знаем в природе! А между тем именно природа и была нашим первым учителем химических наук. В основе нашей промышленности лежит минеральное сырье. Оно определяет направление работ химических лабораторий; и строение вещества и ход химических реакций были изучены на природных материалах.

Вот почему именно геохимия перебросила мост между химическими и геологическими науками. Она, изучая свойства и запасы минерального сырья в мире, не только раскрыла вместе с кристаллографией строение кристаллов, но и определила собой пути развития промышленности.

Таким образом сплеталась цепь научных дисциплин от геологии к геохимии, от геохимии к химическим наукам и к физике. И конечной целью всех этих дисциплин было не только усовершенствование естественных наук, но, как говорил Ломоносов, и умножение тех благ жизни, над созданием которых работает и трудится человек.

Именно это – создание новых ценных веществ, завоевание сырья для народного хозяйства – и явилось в наши дни величайшим и основным стимулом. Технология тесно сомкнулась с геохимией, изучая свойства руд и солей, выясняя распространение в них редких элементов, выискивая пути наилучшего и наиболее полного использования наших недр.

И сочетание химии, геохимии и технологии обеспечило современное развитие химической промышленности.

Мы не будем дольше останавливать ваше внимание на том, какие блага человечеству принесло и принесет еще развитие химии и химических дисциплин; об этом мы говорили раньше, когда писали об истории атома в истории человечества; к этой задаче вернемся и в следующей главе, когда попытаемся набросать картину будущего наших наук и их достижений.

Нас сейчас интересует совершенно другое: каким является и должен быть современный исследователь-химик, тот, кто двигает науку, создает научные лаборатории и завоевывает этим окружающий нас мир.

Химики прошлых веков брали из породы отдельные вещества, элементы, и изучали их в своих лабораториях и кабинетах вне времени и пространства, вне той связи, которую эти предметы имеют со всей природой.

Сейчас человек представляет себе мир как сложную систему, в которой все отдельные части тесно связаны между собой, где, как в огромной лаборатории, сталкиваются, сочетаются и борются разнообразные силы, где только в результате этой борьбы отдельных атомов, электрических и магнитных полей создаются вещества в одном месте и разрушаются в другом.

Мир – громадная лаборатория, где все связано друг с другом, как отдельные шестерни в машине. И современный химик, пришедший на смену старому лабораторному затворнику, по-новому смотрит на каждый атом, тесно связывая его судьбу с судьбами всего мироздания. Вот поэтому-то так сближается сейчас химия с геохимией.

Задачи ученого сейчас изменились: ему мало описывать отдельные явления, отдельные факты окружающей природы, ему мало наблюдать результаты каких-либо опытов в своей лаборатории. Он изучает вещество, то есть он должен понять, как и почему оно создалось и что с ним будет дальше.

Ему мало широких рассуждений философа о законах природы, – он должен изучать их вековое течение в окружающих нас явлениях, он должен раскрыть сложную связь между отдельными явлениями.

Исследователь не должен бесстрастно зарисовывать или фотографировать отдельные явления природы, он должен стремиться завоевать и подчинить их своей воле. Новый исследователь должен быть не ремесленником в своей лаборатории, а творцом новых идей, рождающихся в борьбе с природой за завоевание мира.

Сейчас химик, как и астроном, должен предвидеть: его опыт – не ряд отдельных случайных реакций в колбах лабораторий, его опыт рождается как плод творческой мысли, научной фантазии и глубоких исканий. Современный химик должен понимать, что научная победа

дается не сразу; что она нарастает постепенно, путем долгой проверки и вынашивания отдельных идей; что ее добиваются только в результате длительных исканий иногда целых поколений ученых; что она нередко является той последней каплей, которая переполняет чашу.

Вот почему в современной науке так часто открытия делаются одновременно в разных странах, и самые большие идеи о завоевании окружающего нас мира почти в одни и те же годы рождаются в умах многих ученых.

Успех работы – в умении наблюдать и собирать факты. В области геохимии – это одна из важнейших задач. Мы должны сознаться, что в увлечении теорией и подчас логически стройными обобщениями исследователи иногда перестают наблюдать и не видят того неясного, того несогласного с их прежними представлениями, что является ключом к открытию нового. Умение почувствовать это новое и вовремя отказаться от старых, привычных гипотез является качеством, необходимым настоящему ученому.

Пусть многие считают, что случай наталкивает на открытие, что Рентген случайно заметил на светящемся экране действие рентгеновских лучей, что случайно исследователь открыл в далекой Сибири грандиозные скопления углекислого марганца. Но ведь этот случай всегда есть не что иное, как тончайшее умение подметить новое.

Сколько исследователей в течение многих лет проходили мимо белых пород, считая их простыми известняками, пробовали их соляной кислотой, убеждались, что они шипят, и проходили мимо! Но надо было подметить, что местами в трещинах и на поверхности эти белые породы покрыты черной корочкой, что эта корочка не есть что-то постороннее, что она как бы рождается из белого камня. Так были открыты крупнейшие марганцевые месторождения Сибири. И не случай открыл их, а глубокое, последовательное наблюдение и знание фактов привели к этому открытию.

В этом умении наблюдать есть еще одна сторона, которую замечательно подметил Ломоносов. Он говорил, что из наблюдения надо устанавливать теорию, а через теорию исправлять наблюдение; и он был совершенно прав, так как каждое тонкое и умелое наблюдение рождается из теории и каждая теория имеет смысл только тогда, когда она основана на громадном количестве точно наблюденных и точно описанных фактов.

Каким же должен быть настоящий геохимик?

Он должен быть целеустремленным, идущим без колебаний к определенной цели, он должен быть пытливым наблюдателем, должен обладать живым, молодым воображением, той молодостью мысли и души, которые определяются не возрастом, а чуткостью самой природы. Он должен обладать огромным терпением, выдержкой и трудолюбием и прежде всего умением доводить дело до конца.

Недаром один из крупнейших ученых прошлого века – Франклин – говорил, что гений – это способность к бесконечному труду.

Но ученый должен обладать одновременно и здравым смыслом, и полетом научной фантазии. Он должен верить в свое дело, в свою мысль, быть убежденным в правильности ее, быть смелым в ее защите, гореть на своей работе и любить ее. Энтузиазм в работе – одно из важнейших условий победы. Ремесленниками науки не сделано ни одного крупного открытия.

Без энтузиазма нельзя завоевать мир, и этот энтузиазм рождается не столько в увлечении самим творчеством, сколько в понимании той роли, той ответственной задачи, которую выполняет человек в своей творческой работе.

Увлечение идеей усовершенствования человеческой жизни, горячая жажда победы над темными силами, стремление построить новый, лучший мир, дать ему новые ресурсы и возможности овладеть старыми – вот цель жизни нового человека в новой, свободной стране.

И только так можно завоевать окружающий мир.

В своей автобиографии Чарлз Дарвин говорил: «Мои успехи в жизни как человека науки, каковы бы они ни были, зависели, насколько я могу судить, от сложных и разнообразных жизненных условий и умственных качеств. Из этих качеств самыми важными несомненно были: любовь к науке, безграничное терпение при обдумывании любого вопроса, настойчивость при наблюдении и собирании фактов и достаточная доля изобретательности и здравого смысла».

Вот эти-то черты мы и хотим сейчас видеть в геохимике! Они рождаются в человеке не сразу; они вырабатываются упорным трудом; они не рождаются с рождением человека, они воспитываются и создаются в творческой жизни.

И на наших глазах проходят крупнейшие завоевания химической мысли, и тысячи примеров показывают нам, как побеждается природа энтузиастами науки.

## ***Фантастическое путешествие по менделеевской таблице***

«Что предлагаете вы выставить как самое замечательное достижение русской науки?» – обратился ко мне один из организаторов Всесоюзной выставки науки и техники, намечаемой в Москве через несколько лет.

«Надо выставить нечто такое, чего нет во всем мире и что показало бы славу и мощь нашей советской науки в ее постепенном развитии, начиная от времен Ломоносова и кончая нашим временем!»

Мы увлеклись этой идеей, потолковали с химиками и геологами и внесли свое предложение. Оно показалось сначала слишком грандиозным и фантастическим, но потом наши критики согласились с нами, увлеклись идеей и стали вместе с нами ее развивать.

\* \* \*

Представьте себе здание в виде громадного конуса или пирамиды из хромированной стали, высотой в 20–25 м, примерно как наши пяти- или шестиэтажные дома. Вокруг этого конуса идет грандиозная спираль с отдельными клеточками, которые расположены так, как в менделеевской системе, образуя длинные ряды и вертикальные группы. Каждая клеточка, как маленькая комната, отведена отдельному элементу. Тысячи зрителей спускаются по спирали вниз, рассматривая в клетке судьбу каждого элемента так, как рассматривали бы отдельного зверя в клетке зверинца.

Чтобы подняться на вершину громадного конуса менделеевской таблицы, вы входите внизу внутрь «элементария». Вас окутывает сначала полный мрак, и лишь отдельные красные языки пламени начинают как бы лизать ваши ноги, а постепенно вокруг вас растекается бурлящая масса кипящего огненного расплава.

Вы сидите в стеклянной кабинке большой подъемной машины. Под вами и вокруг вас расплавленный океан глубин Земли. Медленно поднимается кабина среди языков огня и потоков расплавленных масс.

Появляются первые точки отвердевших выкристаллизованных веществ магмы. Они еще плавают в расплаве, носятся целыми массами, постепенно накапливаются в отдельных участках в виде сверкающих блесков, твердеющих горных пород.

Вот справа кабина уже коснулась такой охладевшей магмы глубин. Вы видите темную, еще раскаленную местами докрасна основную породу, богатую магнием и железом. Черные точки хромистого железняка сливаются в целые полосы хромовых руд, а среди них сверкают, как звезды, кристаллики платины и осмистого иридия – этих первых металлов глубин.

Вот постепенно кабина продвигается вдоль такой темно-зеленой каменной глыбы. Много раз ломалась она в своей длинной истории и вновь спаивалась огненно-жидким расплавом. Среди темно-зеленых кристаллов сверкают другие блестящие кристаллики прозрачного камня. Это кристаллы алмаза, которые выносились в такие же расплавленные алмазоносные трубки в Южной Африке.

Вам кажется, что кабина все быстрее и быстрее летит кверху. В глубине остаются темно-зеленые породы железа и магния. Вот появляются сплошные массы серых и бурых пород – диоритов, сиенитов, габбро; среди них кое-где мелькают белые жилки. Вдруг кабина резко поворачивает вправо и врывается в гранитный расплав, насыщенный

газами, парами и редкими металлами, он весь пропитан горячим туманом. Вы с трудом разбираете в хаосе гранитного расплава отдельные твердые кристаллики. О, здесь температура достигла уже 800°!

Бурными потоками со взрывами вырываются кверху горячие летучие пары. Вот застывающая масса гранита прорезается еще расплавленными остатками того же гранита. Это знаменитые пегматиты, в которых рождаются прекрасные кристаллы драгоценных камней, растут дымчатые морионы<sup>[69]</sup>, зеленые бериллы, голубые топазы, кристаллы горного хрусталя и аметиста.

И сквозь туман охлаждающихся паров кабина проходит мимо замечательных картин пегматитовых пустот, которые так хорошо называют на Урале «занорышами». Вот большие дымчатые кварцы, больше метра размером, рядом с ними уже выкристаллизованные кристаллы полевого шпата. Медленно растут на их поверхности пластинки слюды, а выше светлеют дымчатые кварцы. Чудные горные хрустали как бы прозрачным лесом копий разрезают занорыш.

Еще выше поднимается кабина. Лиловые щетки аметистов облекают ее со всех сторон. Сильным порывом вырывается она из пегматитовой жилы, и новые картины привлекают ваше внимание – то слева, то справа ветвятся жилы разной толщины: то целые сплошные стволы из белых минералов и сверкающих сернистых соединений, то тонкие прожилки, едва заметные глазу, так похожие на веточки дерева. Целые участки гранитной породы пропитаны бурыми кристалликами оловянного камня и желто-розовыми массами шеелита.

В кабине тушат электрический свет. Вы оказываетесь во мраке. Затем поворачивают рычаги мощной машины, выделяющей невидимые ультрафиолетовые лучи, и темные стенки начинают зажигаться новыми огнями: то нежно-зеленым светом горят кристаллики шеелита, то желтым огнем вспыхивают зерна кальцита<sup>[70]</sup>. Переливаются, светятся и сверкают фосфорическим светом минералы, а среди них остаются мрачными черными пятнами соединения тяжелых металлов.

Но вот снова зажигается свет. Кабина оставляет контактные зоны гранитов, движется по одному из могучих стволов, поднимающихся из массива гранита. Кабина замедляет ход, и вы поднимаетесь кверху по настоящей рудной жиле. Затем кабина врезается сначала в сплошное кварцевое тело. Черные острые кристаллы вольфрамовых руд прорезают кварцы, а через несколько сот метров появляются первые сверкающие блески сульфидов, эти серебряно-желтые кристаллики сернистых соединений железа. За ними следуют ярко-желтые блески, ослепляющие глаза.

«Смотрите, золото!» – восклицает один из вас. Тонкие жилки прорезают белоснежные кварцы. Еще несколько сот метров кверху пролетает кабина. Вместо золота появляются сверкающие стальные кристаллы

свинцового блеска, потом блестящая, как алмаз, цинковая обманка, различные сернистые руды, переливающие цветами всех металлов, руды свинца, серебра, кобальта, никеля. Выше жилы светлеют. Кабина идет через мягкий известковый шпат, прорезанный иглами серебряного сурьмяного блеска, иногда кроваво-красными кристалликами киновари. Дальше – сплошные желтые и красные массы соединений мышьяка. Все легче и легче пробивает себе дорогу кабина, на смену горячим расплавам давно пришли горячие пары, потом горячие растворы.

Сейчас кабину обдают брызги горячих минеральных источников. Они бурлят и кипят от пузырьков угольной кислоты, они пробивают себе дорогу сквозь осадочные породы, сковывающие земную кору. Вы видите, как они разъедают стенки известняков, откладывая в них натёки цинковых и свинцовых руд. Горячие минеральные источники выносят кабину все выше и выше, вокруг со стенок свешиваются красивые известковые натёки: то сталактиты из бурого арагонита – карлсбадского камня, то красивые осадки мраморного оникса пестрых цветов.

Но ветвятся пути горячих источников, тонкие струйки пробивают себе дорогу на земную поверхность, создавая гейзеры и минеральные воды. Наша кабина проходит через толщу осадочных пород, она прорезает пласты угля, она врезается в толщи пермских солей, перед ней открываются картины отдаленного прошлого земной поверхности. Вот тяжелые жидкие капли падают и замазывают стеклянные стенки кабины. Это нефть и разные битумы в песках осадочных пород. Кабина прорезает отдельные горизонты.

Снова подземные воды обливают дождем ее стены; ее путь проходит через сплошную стену твердых песчаников; мягкие известняки и глинистые сланцы в пестром чередовании прошлых судеб Земли окружают ее. И все ближе и ближе к поверхности движется кабина. Еще один порыв в ее быстром движении – и кабина останавливается.

Яркое пламя поднимается вам навстречу, и белые клубы паров воды снежными облаками сказочной формы застилают все небо.

Вы поднялись на вершину менделеевской таблицы. Перед вами горит в воздухе химический элемент водород, сгорая в клубы водяного пара.

\* \* \*

Вы на верхней площадке менделеевской таблицы. Крутая спираль ведет вас постепенно книзу. Вы держитесь за барьер из хромированной стали и начинаете свой путь.

Вот первая клетка. На ней написано большими буквами: «Гелий». Редкий благородный газ, открытый сначала на Солнце, пропитывающий всю землю, камни, воды, воздух. Гелий – вездесущий газ, который мы разыскиваем, чтобы наполнять наши дирижабли. Здесь, в этой маленькой комнате, посвященной гелию, вы видите всю его историю от ярких зеленых линий солнечной короны до черного невзрачного

клевеита – камня скандинавских жил, из которого насосом можно извлекать газ Солнца – гелий.

Осторожно нагибаетесь вы через перила и видите под клеткой гелия еще пять клеток. В них горят огненными буквами имена других благородных газов: неон, аргон, криптон, ксенон и радиевая эманация – радон.

Вдруг загораются спектральные линии благородных газов, и все начинает гореть пестрыми красками. Оранжевые и красные тона неона сменяются сине-голубыми тонами аргона. Длинные дрожащие полосы синеватых тяжелых газов дополняют эту картину. Мы ее хорошо знаем в городах по светящимся рекламным магазинам.

Снова зажигается свет, перед вами клетка лития. Это самый легкий щелочной металл. Вы видите всю его историю, вплоть до самолетов будущего. И снова нагибаетесь вниз, и снова под вами горят светящиеся буквы его аналогов: желтым цветом светятся цвета натрия, фиолетовым цветом блестит калий, красными тонами горят надписи рубидия, и голубым цветом светится цезий.

Так постепенно, шаг за шагом, элемент за элементом, обходите вы по спирали великую менделеевскую таблицу, и все то, что мы рассказывали вам на страницах этой книги, вся история отдельных химических элементов здесь рисуется не в виде отдельных слов и картинок, а в живых, настоящих образцах, в самой истории каждого элемента.

Что может быть сказочнее клетки углерода – основы жизни и всего мира! Вся история развития живого вещества проходит здесь перед вашими глазами и вся история смерти этого вещества, когда погребенная жизнь в глубинах превращается в уголь, а живая протоплазма – в жидкую нефть. И в замечательной картине сложного мира сотен тысяч химических соединений углерода ваше внимание привлекают его начало и его конец.

Вот громадный кристалл алмаза. Нет, это не знаменитый «Кюллинан», распиленный на кусочки для английского короля, это «Орлов». Он вставлен в золотую палку – жезл русских царей<sup>[71]</sup>.

А вот в конце той же комнаты угольный пласт. Отбойный молот врезается в уголь, и куски этого невзрачного камня длинным конвейером устремляются на поверхность земли.

Но вот вы спускаетесь двумя оборотами спирали ниже – перед вами комната с яркими красками: желтые, зеленые, красные камни сверкают всеми цветами радуги. Вот рудники Центральной Африки, вот темные пещеры Азии. Медленно вращается кинолента, рисуя картины отдельных рудников, раскрывая происхождение металлов. Это ванадий, названный так в честь легендарной древнеславянской (вендской) богини, ибо сказочны те силы, которые он придает железу и стали, вооружая их твердостью и прочностью, вязкостью и гибкостью, неразрушаемостью, необходимой для оси автомобиля. Перед вами в той же комнате оси из

ванадиевой стали, прошедшие миллионы километров, и здесь же надломленные, не выдержавшие даже десяти тысяч километров пробега, оси из простой стали.

Снова проходите несколько оборотов спирали. Картины сменяются одна за другой. То железо – основа всего мира и железной промышленности, то вездесущий йод наполняют пространство своими атомами, то стронций, сверкающий красными ракетами; то плавящийся в руке человека блестящий металл галлий.

О, как прекрасна комната золота! Она искрится тысячами огней. Вот золото в белых кварцевых жилах, вот серебристое, почти зеленое золото Забайкальских рудников, вот вьется на ваших глазах золотая струйка в маленькой модели обогатительной фабрики алтайского Лениногорска, вот золотые растворы всех цветов радуги, вот золото в истории человечества и культуры. Металл богатства и преступления, металл войны, грабежа и насилия! В ярких красках проходят перед вами подвалы государственных банков со слитками золота, тяжелые картины рабского труда в знаменитых рудниках Витватерсранда<sup>[72]</sup>, банковские заповеди, определяющие судьбы акционерных компаний и цену золотой валюты.

Только один шаг, и мы в комнате другого металла – жидкой ртути. Как на знаменитой Парижской выставке 1938 года, посередине комнаты бьет фонтан, но не воды, а жидкой серебряной ртути. В правом углу маленькая паровая машина отбивает такт своими поршнями, работая на ртутном газе, а слева раскрывается вся история этого летучего металла, его рассеяние в земной коре, кроваво-красные капли киновари в песчаниках Донбасса и жидкие капли ртути в рудниках Испании.

Но вы идете дальше. За клетками свинца и висмута начинается какая-то непонятная для вас картина. Элементы и клетки смешаны и спутаны между собой. Здесь нет больше четкости и ясности в отдельных клетках. Вы входите в область особых атомов менделеевской системы. Нет больше прочности и устойчивости в знакомых вам металлах. Что-то неясное и новое рисуется перед вами, вот в тумане вдруг начинает проясняться сказочная картина.

Атомы урана и тория не остаются на своих местах. Из них выделяются какие-то лучи, и рождаются шарики атомов гелия. Наши атомы оставляют свои насиженные клетки. Вот они вскакивают в клетку радия, ярко светятся загадочным светом, превращаются, как в сказке, в невидимый газ радон, снова потом бегут назад по менделеевской таблице и на ваших глазах умирают в клетке свинца.

А вот другая, более страшная картина сменяет первую – какие-то быстро летящие атомы налетают на уран, они ломают его на кусочки с треском и шумом, ярко блестящими лучами распадается атом урана, где-то высоко по нашей спирали загорается он в клетке редких земель, а потом бежит

вновь вниз дальше по спирали, задерживаясь в отдельных клетках посторонних ему металлов, постепенно умирая где-то около платины.

Что случилось с нашими атомами? Разве не нарушены наши законы, наше убеждение, что каждый атом является неизменным постоянным кирпичом природы, что ничто не может его изменить и превратить, что стронций всегда останется стронцием, а атом цинка – всегда атомом цинка?

И вы близки к жестокому разочарованию. Несмотря на все, что мы говорили раньше, атом оказался непрочным. Вы вошли в какой-то новый мир, где атом оказался непостоянным, где его можно разрушить, не уничтожить, но превратить в другой. И сквозь туман конца менделеевской таблицы, среди сверкающих искр летящих атомов гелия и рентгеновских лучей, вы спускаетесь к последним ступенькам спирали в неведомые глубины.

Но сейчас вы спускаетесь не в глубины земли, а в глубины горящих, сверкающих на небе звезд. Туда, где температуры измеряются сотнями миллионов градусов, где давление не может быть выражено никаким числом наших атмосфер, где в бешеном хаосе сверкают и распадаются атомы менделеевской таблицы.

Так что же, – значит, все то, что мы говорили, было неверно? Значит, правы были алхимики, когда хотели сделать из ртути золото? Из мышьяка и «философского камня» создать серебро? Значит, правы были те фантазеры науки, которые еще сто лет тому назад говорили, что атомы переходят друг в друга, что в сложных, не доступных нам мирах они рождаются один из другого?

Менделеевская таблица – совсем не мертвая таблица, состоящая из клеточек. Она не только картина настоящего, но и прошлого и будущего; это картина тех таинственных процессов мира, в которых идут превращения одних атомов в другие. Это картина той борьбы за существование, которая господствует в мире атомов.

Таблица Менделеева есть таблица истории и жизни мироздания! А сам атом есть кусочек Вселенной, вечно меняющий свое место в сложных рядах, группах и клетках менделеевской таблицы.

Вы подошли к самой замечательной картине окружающего нас мира.

## ***Завоевания будущего***

Бурное развитие физики и химии в наши дни – это только преддверие того подъема, который все отчетливее и отчетливее намечается в науке, промышленности и хозяйстве и который будет, как мы говорим, химизировать науку и технику. Я думаю, что наступает век химии, век, в который не только все химические элементы будут подчинены

человеческому гению, но будут разбужены и все силы атома и использованы грандиозные запасы энергии, таящиеся в каждой молекуле, атоме, электрическом клубке. Пусть несколько фантастическими покажутся следующие страницы, но фантазия настоящего часто превращается в технику будущего.

Ведь фантазии Жюль Верна, которыми мы и сейчас еще увлекаемся, превратились в реальную быль сегодняшнего дня! У нашего замечательного ученого К. Э. Циолковского мы находим еще больший размах фантастической мысли, и хотя прошло только несколько десятков лет со времени его смелых предсказаний, но уже многое из того, о чем он тогда писал, претворилось в жизнь. Поэтому мы не должны бояться научной фантазии, но нельзя и принимать ее за нечто уже существующее; мы должны бороться за нее, ибо фантазия – один из методов научной работы.

Так давайте пофантазируем вместе о том, что будет с нашей техникой в эпоху расцвета химических наук.

Прежде всего будет побеждена воздушная стихия, не только потому, что самолеты и ракеты будут подниматься в заоблачные высоты на пятьдесят – сто километров и летать со скоростью, почти равной скорости звука, но и потому, что химия овладеет веществом воздуха и подчинит его власти человека (Искусственные спутники и космические ракеты достигли уже гораздо больших высот. Реактивные самолеты летают со сверхзвуковыми скоростями. – *Ред.*).

В громадных турбодетандерах на разбросанных по всей земле крупных заводах будет извлекаться из воздуха гелий, разделяться кислород и азот, и целые реки жидкого кислорода потекут по искусственно охлажденным трубам, направляясь к мощным металлургическим заводам, где выплавка металла в домнах делается столь же простой, как выпаривание воды в лабораторной колбе.

На таких же заводах будет получаться чистый азот, превращаемый мощными электрическими разрядами в азотную кислоту. Живительный азот в виде удобрений в грандиозных количествах будет вноситься на наши поля, удваивая и утраивая их урожаи. А по другим трубам этих же установок воздушной промышленности будут течь потоки благородных газов – жидкого неона, криптона и ксенона. По тонким трубам они потекут на заводы электрических ламп.

Но еще чудеснее будет победа над теми слоями озона, которые образуются под влиянием ультрафиолетовых лучей Солнца на высотах в десятки километров.

Мы знаем, что эти слои озона окутывают Землю как бы сплошной пеленой, отражая радиоволны, задерживая живительное действие ультрафиолетовых колебаний.

И вот представьте себе такую фантастическую картину: громадные наэлектризованные столбы аммиачных соединений поднимаются до высоты в несколько сотен километров, до знаменитого озонового слоя; озон распадается, в нем образуются свободные окна, через которые от Солнца мощными потоками льются волны ультрафиолетовых электромагнитных колебаний. В одних местах они губят жизнь, в других придают ей могучую силу, служа источником новой, живительной энергии.

Но еще фантастичнее кажется нам завоевание глубин.

Океан магмы, кипящий под нашими ногами, колоссальные количества тепла, запертые в земных недрах, – все это делается доступным человеку.

По особым трубопроводам человек достигнет на глубине 20–30 км слоев, нагретых до 500–1000°; он использует тепло земных недр в тепловых станциях<sup>[73]</sup>; он прекратит уничтожение лесов и бесцельное сжигание угля, столь необходимого для химических процессов; он перестанет тратить нефть для тепловых установок<sup>[74]</sup>.

Миллионы калорий принесут с собой трубы из глубин на земную поверхность. Они не только дадут тепло человеческим жилищам и заводам – они согреют целые районы своим горячим дыханием, расплавят льды полярных стран, изменят климат. Мощные холодильные установки, разбросанные в разных местах пустыни, превратят ее в цветущие оазисы.

Но человеку и этого будет мало... Человеку будет мало тепла, которое разольется по его приказу по всей поверхности Земли и исправит ошибки Солнца, – он поднимет из глубин те богатства, которые там скрыты.

Уже сейчас, по гениальному предсказанию Менделеева, в нашей стране начинается новый этап борьбы за овладение недрами.

В глубинах, не доступных рудничным шахтам, сжигается уголь, продукты горения по трубам поднимаются на поверхность и используются промышленностью. Не надо ни шахт, ни тяжелой работы бурильщиков, забойщиков и откатчиков в угольных коях, – сложный, длинный путь автоматизации и телемеханики дает возможность овладевать угольными запасами, не спускаясь в шахты.

Уже люди поднимают серу из глубин земных залежей. Пары воды расплавляют в глубинах серу, и жидкие потоки ее выливаются на земную поверхность, а если пары воды, нагретые до 500–600°, направить в рудные жилы, в скопления тяжелых сернистых металлов, тогда вместо серы по трубам из нового устойчивого материала потекут сернистые соединения серебра, свинца и цинка.

Мощные слои сланцев будут сжигаться в глубинах, вызывая на поверхность живительные газы. Соли будут растворяться и в виде

растворов извлекаться на земную поверхность. Сильные кислотные растворы будут растворять природные вещества, давая готовые соли для электролитических заводов. Вся земная кора будет пронизана миллионами стальных труб, извлекающих с разных глубин нужные человеку вещества<sup>[75]</sup>.

Еще решительнее будет победа над веществом, когда химия научится собирать рассеянные атомы урана и использовать их энергию.

Сейчас физики говорят нам, что мировые запасы энергии урана колоссальны. Научившись делить эти распадающиеся атомы урана, человек построит новые двигатели, которые будут безотказно и безостановочно работать тысячи лет, служа источником сказочной энергии, двигающей и самолеты и корабли<sup>[76]</sup>.

В новых химических установках вся энергия мира будет поставлена на службу человеку. Солнечные лучи, падающие на земную поверхность, будут подхватываться громадными зеркалами и превращаться в тепло. Солнечные кухни в Калифорнии и в СССР – первый опыт овладения энергией солнца – войдут в обиход каждого человека.

Полностью использованы будут источники белого и синего угля, энергия которых будет подхвачена громадными станциями по всем берегам океанов, морей и рек. Человек будет хозяином таких громадных количеств энергии, что он сможет делать подлинные чудеса!

И тогда человек овладеет пространством, расстоянием и временем!.. Скорости в несколько тысяч километров в час сделаются обычными; расстояния между городами и отдельными центрами сократятся до минимума и перестанут разделять людей. Новые формы жизни, новое социальное переустройство мира смогут стереть все земные границы. Жизнь человека будет поставлена как главная задача научного творчества. Человек научится тонкими методами делить атомы, он сумеет при помощи радиоактивных лучей и излучений громадных циклотронов делать с атомами все, что ему нужно: разбивать их на отдельные кусочки, превращать тяжелые атомы в легкие и, наоборот, из легких атомов строить тяжелые.

Получая искусственно различные типы атомов, человек научится их использовать. Атомы, живущие только секунду или минуту, он сумеет ввести в организм как новые лечебные средства для борьбы с вирусами и вредоносными бактериями. Он овладеет живой клеткой, управляя ею при помощи новой химии. Но для своих мощных химических процессов он сумеет использовать и микроорганизмы. Уже сейчас в институтах микробиологии в маленьких колбах, в желатине, человек выращивает многие нужные, полезные бактерии.

Он сумеет получать их в громадных количествах и рассыпать по полям. Бактерии дадут полям удобрения – азотную кислоту, разлагая гипс, извлекут серу. Человек превратит бактерии в силу жизни, в мощного деятеля химии и, используя их, научится извлекать рассеянные в морях

металлы, как это делают отдельные маленькие акантарии, поглощая и вбирая в себя стронций из морских растворов.

В борьбе за недра человек использует всю горную массу. Никаких отбросов, никаких неиспользованных пустых пород! Все будет служить промышленности, вся менделеевская таблица будет использована, а самые распространенные элементы – кремний и алюминий – сделаются основой жизни<sup>[77]</sup>.

«Сверхредкие» вещества потеряют смысл своего названия; они прочно войдут в нашу жизнь. Уже сейчас успехи радиотехники, электротехники, военной техники, авиации, авиастроения и других отраслей науки и техники выдвинули новую отрасль – изучение редких элементов и добычу металлов из таких рассеянных руд, где их содержание определялось лишь граммами на килограмм, то есть миллионными долями процента. С помощью этих элементов мы создадим экраны телевизоров и, сидя в своей комнате, сможем вести беседу с далекой аудиторией, которую мы будем видеть на экране перед нашими глазами. Телевизоры, построенные с применением редких металлов, заменят нам старые радиоприемники. Редчайшие элементы будут служить для химических реакций, которые на грандиозных химических заводах смогут превращать вещества в нужные для жизни продукты.

И среди всех новых веществ, которые сумеет человек получить из элементов Земли, та химия, которую сейчас называем органической химией углерода, сделает грандиозные успехи. Вместо сотен тысяч углеродных соединений, которые известны сейчас, миллионы новых структур получит человек, когда он сумеет применять в своих новых установках низкие температуры, близкие к абсолютному нулю, температуры в миллионы градусов и давления в сотни тысяч атмосфер.

Это будет новая химия углерода. Это будут не только пластмассы, из которых можно изготовить любую вещь – от пуговиц до самолетов, – не только искусственный каучук, который с успехом начинает заменять естественный, не только замечательные краски, сделавшие ненужными плантации индиго, – нет, это будут совершенно новые вещества, близкие к настоящей органической молекуле, к протоплазме, белку... Это будут искусственные питательные вещества, которые сделают лишними сложные химические лаборатории в организме животных.

Новая, синтетическая химия сумеет использовать и другие элементы для того, чтобы строить такие же сложные соединения, какие сумела создать из углерода, кислорода и водорода наша органическая химия. Новые молекулы из кремния, германия, бора и азота уже рисуются мне сейчас в тех замечательных соединениях, которые удалось получить за последние годы химикам, построившим бензольное кольцо не из углерода или водорода, а из двух других элементов Земли – азота и бора<sup>[78]</sup>.

Но для того чтобы химия овладела миром, нужна огромная научная работа; нужны мощные и многочисленные научные институты с совершенными установками высоких давлений и температур, которые должны слиться с заводскими лабораториями.

И здесь, в этих новых дворцах науки, победа будет завоевана новыми людьми, вооруженными смелой научной фантазией, горящими огнем новых исканий.

В таких красках рисуется мне будущее в свете сегодняшнего дня. Но краски эти взяты из окружающей нас природы и из наших знаний. Еще величественнее будут картины более отдаленного будущего; но для того чтобы нарисовать их, у нас пока нет ни слов, ни красок, ни образов...

Пути к науке будущего я вижу в победе над материей и энергией природы, в подчинении сил мироздания победоносному гению человеческой мысли. Мысль – это величайший и еще нами не понятый источник силы. Мысль, побеждающая пространства, одним великим открытием умеряющая страдания человечества и овладевающая тайниками природных сил – атомами. В мысли человеческого гения заложен новый мир науки будущего, который овладеет неиссякаемыми источниками мировых превращений энергии.

Счастье человечества – такова цель бурных исканий. Новая жизнь родится как результат победы над природой и над косностью самого человека.

Трудная и упорная борьба предстоит человечеству на этом пути. Но вехи для будущего уже поставлены, задачи намечены. Борьба за природу, за овладение ее силами, за превращение всего бесполезного в полезное явится одним из могучих рычагов для создания новой жизни.

## ***Конец книги***

Вот теперь и конец книги. Нам с вами пришлось превратиться в маленький странствующий атом, чтобы пробежаться по сложным путям странствования элементов, заглянуть в глубины Земли и даже на горячие небесные светила, чтобы посмотреть, как ведут себя различные атомы в мироздании, в руках человека, что с ними делается в промышленности и народном хозяйстве.

Длинный путь проходят атомы в своей истории, и не знаем мы ему ни конца, ни начала. Еще остается для нас загадочным рождение атомов и начало их странствования на Земле. Неясны нам и их судьбы в будущем, сложном будущем нашей планеты.

Мы знаем только, что одни атомы улетают за пределы Земли и рассеиваются в межзвездных пространствах, где на один кубический метр приходится не более одного ничтожного атома и где ими занята

лишь такая маленькая часть мирового пространства, что ее надо было бы выразить единицей, стоящей за тридцатью нулями после запятой.

Мы знаем, что другие атомы рассеиваются в самой земной коре, ее почвах, водах, океанах; третьи медленно и постепенно возвращаются в глубины, подчиняясь законам мирового тяготения. Одни атомы постоянны, неизменны, прочны, как чистые белые костяные шарики биллиарда; вторые, наоборот, упруги, как резиновые мячи, сжимаются, сталкиваясь друг с другом, переплетаются в какие-то сложные постройки, окруженные электрическими полями; третьи разрушаются до основания, до самых глубин своих ядер, излучая энергию и превращаясь в диковинные газы, время жизни которых точно определяется законами распада и измеряется миллионами лет для одних, годами для других, секундами и ничтожными долями секунды для третьих.

Почти из ста химических элементов построен окружающий нас мир, а как много разнообразия, как различны черты этих атомов, как различны их сочетания между собой!

Мы только сейчас начинаем по-новому читать эти замечательные страницы истории химических элементов Земли. Геохимия лишь приоткрыла новый мир природы, еще только началась упорная работа, только начались наблюдения за поведением каждого элемента в земной коре, а уже возникла задача завести свой журнал поведения для каждого атома, вникнуть в его характерные черты, узнать его недостатки и достоинства, – словом, так детально и так глубоко познакомиться с каждым атомом, чтобы из разрозненных фактов построить историю его судеб, историю Вселенной.

Каждое звено в этой истории зависит от еще не разгаданных свойств атома, и сложные, глубокие законы управляют его судьбами как во всем космосе, так и на Земле и в руках человека. Но познать пути атомов нам надо не для того, чтобы просто ради любопытства узнать их поведение на Земле, – нет, нам надо научиться управлять ими так, как это нужно человечеству для его технического, хозяйственного и культурного прогресса.

Да, мы должны овладеть атомами до конца и суметь делать из них все, что мы хотим; например, получать сверхтвердые сплавы, которые были бы тверже алмаза, а для этого мы должны знать, как располагаются атомы в своих сложных постройках. Мы должны научиться разгадывать свойства соединений металлов, мы хотим и должны не просто пробовать, а знать наверняка.

Мы должны получать и добывать возможно большее количество таких атомов, как атомы цезия или таллия, которые легко отдают свои наружные электроны. Из них мы хотим построить крохотные телевизоры, которые будем держать у себя в кармане или записной книжке, прекрасные звуковые киноаппараты размером не больше обыкновенной книги<sup>[79]</sup>.

Мы хотим, словом, подчинить себе весь атом, подчинить его своей воле, воле торжествующего человека, превращающего все грозные и вредные силы природы в полезные. Мы хотим всю природу, всю менделеевскую таблицу элементов положить к ногам трудящегося человечества.

Вот смысл и задача нашей геохимической работы, вот для чего мы хотим понять и добыть атом.

Этими словами мы кончаем наш длинный рассказ.

Но разве, друзья, может быть конец науке или учению? Будем с вами совершенно откровенны.

Здесь, в самом конце нашей книги, мы, в сущности, оказались в начале наших знаний, и даже если несколько раз перечитаем эту книгу, внимательно просмотрим отдельные картинки, попытаемся запомнить поведение отдельных элементов, все же должны будем сознаться, что мы только в самом начале.

Нам придется еще очень много читать и очень много думать и работать, пока мы поймем кое-что в тайнах окружающей нас природы. Что же делать дальше? Прежде всего надо учиться основным наукам – химии, физике, минералогии и геологии. Через эти науки не перешагнешь, и, чтобы сделаться хорошим исследователем природных богатств нашей страны, надо вдумчиво овладевать основами химических и минералогических наук.

Надо много читать, внимательно изучать книги, вдумчиво вникать в судьбу каждого элемента, следить за его поведением в земле, в воде, в воздухе, наблюдать за его использованием в технике, в сельском хозяйстве, и на этом пути руководящей звездой всегда будет менделеевская таблица. Посмотрите на менделеевскую таблицу или, еще лучше, нарисуйте ее сами на большом листе бумаги, поставьте в каждой клетке химический знак, атомный вес химического элемента, напишите внизу, сколько его в земной коре, и повесьте эту таблицу у себя в комнате так, чтобы она всегда была у вас перед глазами.

Менделеевский периодический закон многому научит.

Он покажет, как атомы связаны между собой не только в таблице, но и в самой природе.

Но учить вас химии и геохимии будут не только книги, карты и таблицы. С новыми идеями в химии вы можете познакомиться в наших музеях, где на выставках по минералогии и геохимии можно многому научиться, где образцы нередко расположены по отдельным химическим элементам.

Учить химии, минералогии и геологии будут вас также и большие металлургические и химические заводы.

Всякий, кто посетил Магнитогорский комбинат, на всю жизнь запомнит, что делается с железной рудой и как из сложного сочетания химических элементов после обработки в доменной печи и в специальных цехах

рождается сначала железо, богатое углеродом, а потом и настоящая сталь. В Соликамске мы можем узнать химические и геохимические судьбы калия и магния. На суперфосфатных заводах в Ленинграде, в Воскресенске (под Москвой), на Украине, Урале и в других местах – можно увидеть, как апатиты и фосфориты с помощью серной кислоты превращаются в фосфорные удобрения. Наблюдая процессы в огнедышащих печах заводов ферросплавов Челябинска, вы поймете, как рождается в глубинных недрах расплавленная магма и как из нее кристаллизуется вещество.

Словом, всюду на наших больших заводах проходят отдельные странички истории атомов: смешение в сложных процессах атомов разных металлов, извлечение из них различных веществ, которые потом снова сливаются в новых сочетаниях с другими атомами, для получения легированных сталей, сложных суперфосфатов, солей калия, марганца, ванадия и циркония. В промышленных процессах все шире и глубже используется химия. Нам уже мало просто обточить камень в кубик мостовой или в наконечник стрелы, мы стремимся сейчас его химически переработать так, чтобы получить наиболее ценное качество и сочетание различных веществ.

Мы отливаем прекрасные кубики для новых, усовершенствованных мостовых, мы вытачиваем из твердой стали острия наших снарядов, мы изменяем природные процессы и превращаем природные вещества в новые ценности.

Мы живем сейчас не только в эпоху химических превращений, но и в период государственного, планового развития химических знаний и химической промышленности.

Химические процессы окружают нас на каждом шагу, и мы должны внимательно к ним присматриваться и разгадывать их.

Учить геохимии и новым идеям в минералогии будет вас и сама природа, ее месторождения металлов, солей и руд. Нигде не научится молодой исследователь законам химических превращений так, как у самой природы; и поэтому мы зовем всех весной и летом, зимой и осенью в смелый путь на изучение химических процессов Земли.

Присматриваясь к ним, вы увидите ранней весной в черных глинах юрских отложений под самой Москвой, как золотые блестки колчедана поглощаются светло-зеленым выцветом солей купоросов. Вы увидите грандиозную картину изменений и образования железных руд на руднике горы Магнитной, где некогда мощные образования магнитного железняка на земной поверхности стали превращаться сначала в бурые массы минерала нонtronита, а потом сверху стали покрываться красно-бурыми и ржавыми окисями железа.

Всюду, в рудниках и каменоломнях, на вершинах горных хребтов и в глубоких долинах по обнажениям рек, – всюду вы увидите, как изменяется вещество, как один минерал переходит в другой, как новое

вещество сменяется третьим. Надо быть только внимательным в своих наблюдениях, и очень скоро каждый из вас заметит, что все меняется – иногда медленно, спокойно, иногда внезапно, подчиняясь великим законам природы. «Все течет», – говорили древние греческие философы. «Все превращается и изменяется», – говорят геохимики наших дней. Этим мы кончаем нашу книгу. Нам хотелось бы еще только дать нашим юным читателям несколько кратких, но полезных советов:

1. Читай книги по минералогии, химии, физике и полезным ископаемым. Запоминай и внимательно изучай менделеевскую таблицу.
2. Посещай музеи минералогические, геологические, краеведческие и промышленные.
3. Осматривай заводы, знакомься с производством, вникай в химические процессы, которые в них происходят.
4. Отправляйся летом на рудники, в копи и каменоломни, наблюдай природу, которая является самой могучей лабораторией Земли.
5. Думай об использовании природных богатств своей Родины, ищи их скопления, скрытых внутри земных недр.

А если что в этой работе будет неясно, трудно, подчас непонятно и, может быть, даже скучно, – ты не унывай, бодро иди вперед по пути овладения тайнами науки, упорно вникай во все детали изучаемого явления, верь в свои силы и в свою энергию, верь в прекрасные судьбы нашей страны, в ее природные богатства, в несокрушимую творческую силу человека.

## **Приложение**

### ***Геохимик в поле***

#### **Введение**

Настоящая глава состоит из двух частей. В первой излагается ряд практических советов для геохимика, работающего над поисками полезных ископаемых и геохимическим изучением какого-либо района. Во второй – дается краткое перечисление основных методов геохимической работы в той последовательности, какую должен соблюдать геохимик в своей полевой работе.

В основе и того и другого лежит положение, которое хорошо усвоено исследователями последнего времени; научная полевая работа в общем складывается из трех частей: из подготовительной стадии, проведения самого исследования и вывоза и обработки материалов.

Нет никакого сомнения, что все три части являются одинаково важными и каждая из них требует к себе внимания и продуманного отношения.

«Хорошо путешествует тот, кто много знает и много размышляет», – сказал один из ученых-путешественников, а другой совершенно справедливо прибавил, что среди всех инструментов, которые должны быть в распоряжении исследователя, самым острым и самым важным является его глаз, от внимания которого не должны ускользать самые ничтожные явления, ибо в них нередко залог крупных и важных выводов.

## Часть первая

### Снаряжение

В полевой работе геохимику, помимо обычного геологического снаряжения, требуются еще дополнительные приборы для физических и химических исследований. При оснащении экспедиции необходимо учитывать прежде всего способы передвижения в районе, который собирается обследовать экспедиция, в план ее должен включаться весьма серьезный анализ веса и габарита самого снаряжения. Если недостаточное оснащение экспедиции может отрицательно сказаться на ее работе, то лишнее снаряжение затруднит передвижение, сделает невозможным посещение труднодоступных районов.

Общее снаряжение исследователя должно прежде всего состоять из молотков разных типов.

Для пород осадочных и мягких (сланцев, известняков, глин, мергелей и так далее) необходимо, чтобы молоток одновременно служил и легкой киркой, его палка должна быть длиной примерно 40 см и насажена так, чтобы в руках был узкий конец ее, а более широкий не давал бы молотку соскочить при ударе. При помощи такого молотка легко можно очищать осыпи и взбираться по крутым склонам.

В районах твердых горных пород (гранит, гнейс, сиенит и так далее) необходимо иметь молоток более тяжелый (в 1–2 кг) с рукояткой длиной примерно в 70 см. На рукоятке должны быть нанесены сантиметры, чтобы иметь всегда под рукой точные масштабы для измерения. Кроме того, при больших работах надо иметь тяжелую кувалду до 5 кг весом и небольшой легкой молоточек с короткой рукояткой, в 20–30 см, для отбивания мелких кусков или же для придания образцам определенной формы. Кроме молотка, необходимо иметь набор зубил различной формы и величины. Из другого снаряжения перечислим: увеличительное стекло (лупу не выше 8-кратной), горный компас, рулетку, перочинный ножик, записную книжку с карандашом, специально заготовленные и перенумерованные этикетки величиной 6 × 4 см, большое количество оберточной бумаги, некоторое количество маленьких стеклянных банок для сбора ценных и нежных образцов и кристаллов, плотные и прочные коробочки различной величины; для сыпучих и землистых тел важно иметь набор парусиновых мешочков с проставленными на них номерами.

Кроме указанного снаряжения необходимо иметь легкую фотографическую камеру, барометр-анероид и набор цветных карандашей для зарисовки геологических и геохимических схем.

Всегда полезно иметь с собой небольшие скляночки с кислотами разной крепости, хороший древесный уголь, платиновую проволочку<sup>[80]</sup>, соду и буру. При работах более постоянного характера это элементарное снаряжение должно быть дополнено рядом специальных приборов.

Очень серьезным вопросом является укладка и распределение самого оборудования. Часть его должна упаковываться в крепкие, не пропускающие влагу мешки, приспособленные для ношения на спине (рюкзаки); другая – в ящики, приспособленные для тех методов передвижения, которые намечаются в данном районе, и здесь должен быть проявлен максимум внимания и опыта, чтобы не сделать грубых ошибок и не затруднить транспорт.

### **Укладка собранных материалов**

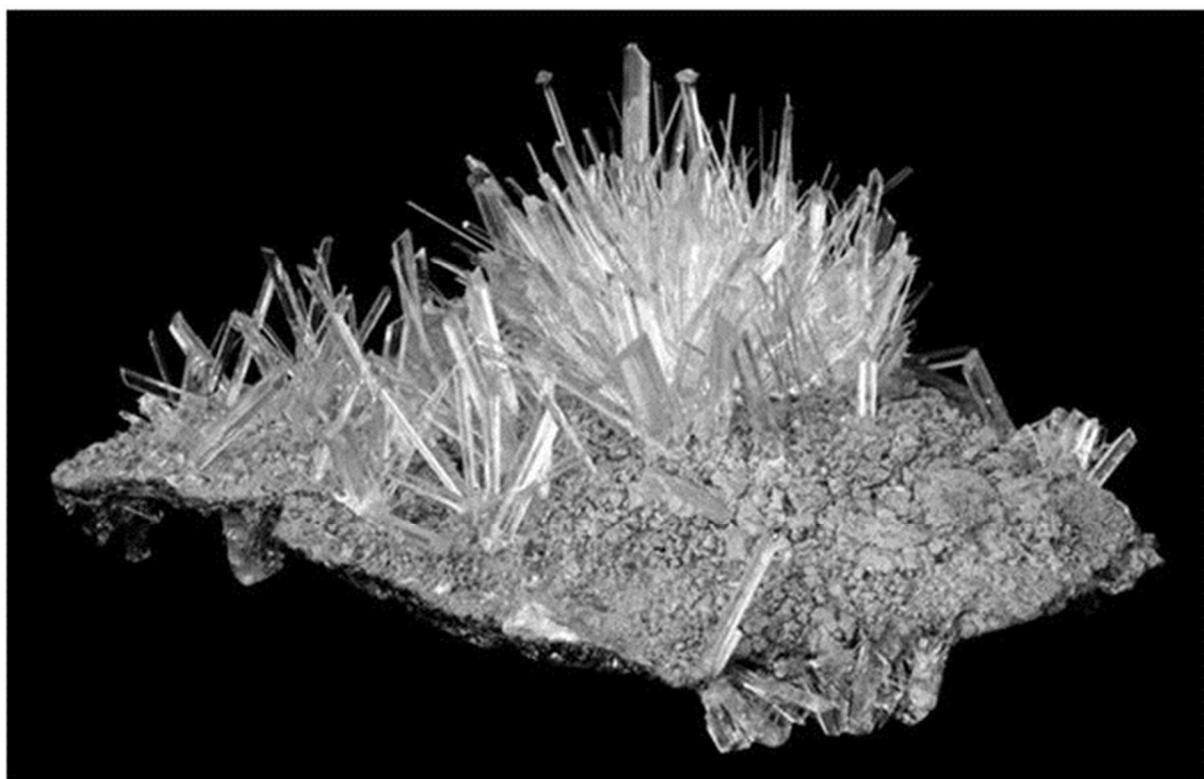
На укладку и транспортировку собранных минералогических материалов нужно обратить самое большое внимание.

Тщательная упаковка и завертывание каждого образца в отдельную бумагу с вложением этикетки представляет необходимейшее условие хорошего сбора. Надо принять за правило никогда не завертывать в одну бумагу вместе несколько образцов, как бы малы они ни были, а всегда каждый образец завертывать отдельно. Сколько раз из-за небрежности в упаковке погибали прекрасно собранные материалы, особенно образцы мягких минералов! Поэтому при упаковке нужно отделять нежные и мягкие образцы от твердых и упаковывать их отдельно. Каждый образец нужно завертывать в 2–3 листа бумаги, но ни в коем случае не следует эти листы заранее складывать вместе. Этикетку к каждому образцу, сложенную вдвое, кладут не непосредственно на штупф, а после первого слоя бумаги; при этом необходимо иметь в виду, что этикетки надписывают простым, а не чернильным карандашом. Хрупкие и нежные щетки кристаллов следует покрывать сначала тонкой папиросной бумагой и тампоном из ваты и только потом уже завертывать в большие листы бумаги.

Укладка материалов, собранных экспедицией, проходит через ряд этапов, к которым нужно относиться весьма внимательно.

Первый этап – каждодневный сбор и переноска к лагерю. Практически мной за пятьдесят лет сбора минералов был выработан такой метод. Когда ведется сбор геохимического и минералогического материала, все образцы, найденные группой работников, относятся в какое-нибудь одно место (около привала) в гораздо большем количестве, чем это нужно. Затем по окончании работы (вечером) весь собранный материал разбирают, формуют, отбирают лучшие из типичных образцов и временно осторожно укладывают в наплечные мешки. В постоянном

лагере образцы складывают в надежное и сухое место и в конце определенного периода работ рассматривают вновь и завертывают в бумагу для дальнейшей укладки в плотные и крепкие ящики так, чтобы общий вес каждого ящика не превышал 50 кг. Укладка в большие ящики вообще не рекомендуется, так как камни при этом перетираются, а при перевозках и перегрузках очень тяжелые ящики легко повредить. Отправка материалов должна проводиться непосредственно самой экспедицией. Образцы, оставленные на попечение кого-либо из местных жителей, обычно попадают в руки исследователя с опозданием или вовсе не попадают.



Кристаллы гипса

Получив ящики с материалами, необходимо тщательно разобрать образцы и обязательно разместить вместе с этикетками в соответствующие коробки, так как путаница в этикетках может привести к непоправимому вреду и нередко к неверным выводам.

Первый вопрос, который всегда возникает при сборе, – это в каком виде и сколько брать? Надо сказать, что на него ответить довольно трудно, и хороший сбор минералогического материала обеспечивается лишь долгим опытом и большим знанием природы. Некоторым образцам нельзя придавать определенную форму, для других же, наоборот, желательны определенные размеры и формы, примерно 9 × 12 или 6 × 9 см.

## Сбор материалов при геохимических поисках

Геохимические поиски и сама геохимическая методика исследования требуют специального сбора материала. Поскольку последующие работы геохимиков связаны со специальными минералогическими, химическими, спектроскопическими и рентгеновскими исследованиями, сбор материала представляет очень ответственную задачу, от качества и продуманности сбора в значительной степени зависит успех геохимического анализа.

Что же требуется от такого сбора?

1. Прежде всего, необходимо достаточное количество материала не только для оптических исследований, но и для химических определений, причем детальным химическим анализам предшествует в иных случаях отделение привходящих, дополнительных минералов. Поэтому необходимо иметь десятки килограммов образцов наиболее характерных пород и минеральных сочетаний.

2. Для минералогических исследований также необходим сбор отдельных минералов. Это нужно для того, чтобы выяснить последовательность выделения минералов, и для отбора хороших, чистых образцов важнейших минералов для анализов.

3. Необходимо собирать материал не только для лабораторных исследований, но и для хранения наиболее типичных образцов в музеях. Это поможет познакомить посетителей музея с данным экспонатом и позволит сравнить типичные образцы минерала изучаемого вами района с образцами таких же минералов других месторождений.

Сравнительный анализ есть один из методов исследования натуралиста. Исследователь-геохимик не должен делать ошибок старой минералогической школы<sup>[81]</sup>, он должен обращать серьезное внимание на все мелкие проявления каких-либо химических элементов; даже ничтожные корочки, продукты выветривания, должны собираться им так же тщательно, как красивые штуфы с хорошими кристаллами.



Кристаллы черного турмалина

Вообще, как основное правило, надо рекомендовать всем исследователям брать как можно больше материала. Лучше потом отбросить лишнее, чем не собрать полного материала по всему комплексу минералов и химических элементов изучаемого района.

При сборе образцов никогда не надо убаюкивать себя мыслью, что вернешься в другой раз на это же место и соберешь дополнительно новый материал.

### **Запись наблюдений**

Вопрос о записи наблюдений в полевой работе также очень важен и серьезен. Один ученый совершенно справедливо говорил, что путешественник и исследователь должен носить карандаш на веревочке вокруг шеи, – чем легче доставать карандаш, тем чаще будешь записывать. Записи должны вестись двумя путями. Прежде всего на

каждой этикетке, приложенной к образцу, желательно ставить не только точное указание места и даты сбора, но и некоторые данные о тех условиях, в которых образец взят. Чем точнее указано место находки, тем легче в дальнейшем использовать собранный материал.

Однако основная запись – в полевой записной книжке, и безукоризненное ее заполнение должно быть предметом постоянной заботы исследователя. Успех многих исследований зависит от того, насколько тщательно, продуманно и полно ведутся полевые журналы. Запись наблюдений нужно делать прежде всего на месте работ, охватывать все наблюдения, проведенные в данном месте, и записывать приходящие при этом в голову мысли. В конце дня должна даваться сводка всего материала, причем должны вестись дневники того, что сделано за это время. Очень важны сделанные от руки в записной книжке схематические зарисовки мест, в которых происходила работа и были взяты отдельные образцы.

Полнота и точность записей в записной книжке служат вообще лучшим показателем работы; и одна из грубейших ошибок полевых исследователей – надежда на свою память. Внесение дополнительных данных по памяти в полевую книжку или в этикетки – метод очень опасный, который нередко обесценивает сбор и ведет к неверным выводам.

Необходимо подчеркнуть, что вести хорошо полевой журнал очень трудно. Он обычно может составляться лишь вечером, по окончании тяжелого полевого дня, когда исследователь уже устал и стремится к отдыху. Нередко необходимо определенное напряжение воли, чтобы все же заставить себя посвятить хотя бы 15 минут записи дневных полевых наблюдений. Иногда это было и в моей практике – начинаешь вследствие переутомления запускать журнал. Тогда лучше сделать дневку и посвятить несколько часов спокойному деловому его исправлению.

Полевые журналы должны храниться особенно тщательно; их нельзя никому отдавать ни во время работы, ни после нее, так как это основной документ, который следует всегда носить при себе вместе с другими важнейшими документами экспедиции.

После возвращения из экспедиции и разбора коллекций наступает второй этап – подведение итогов полевой работы. Я придаю ему очень большое значение и полевой отчет ставлю во многих отношениях выше окончательного, ибо он обычно объективно подытоживает непосредственные полевые наблюдения и этим самым приобретает ценность, не всегда присущую детально проработанному окончательному отчету, на который оказали влияние и прочитанная литература, и мнения других исследователей, и целый ряд посторонних обстоятельств.

Отчет, написанный под первым впечатлением самой поездки, нередко является гораздо более правильным и более глубоким с точки зрения постановки самих проблем, чем более поздняя надуманная и обработанная сводка.

## **Часть вторая**

### **Методы и последовательность работы**

Перед отъездом в поле геохимик должен провести ряд подготовительных работ помимо подготовки снаряжения, о котором было сказано выше.

Прежде всего необходимо ознакомиться с имеющейся литературой по данному району и по данному вопросу. Если задача поисковой работы – поиски определенного химического элемента, то необходимо детальное ознакомление со свойствами его и его соединений. Во всех случаях исследователю, помимо изучения имеющейся литературы, надо детально ознакомиться в музее с образцами, типичными для данного района, и с теми минералами, которые характеризуют элементы – объекты поисков. Особенно важно своевременно приобрести детальные топографические и геологические карты или их копии для того, чтобы во время экспедиции отмечать цветным карандашом пройденный путь, места нахождения наиболее интересных минералов.

До отправки в экспедицию надо также обязательно детально ознакомиться со всеми методами полевых исследований и точно знать не только как пользоваться теми приборами, которые геохимик берет с собой, но и как их исправлять.

Второй этап – работа в поле. Надо прежде всего ознакомиться с тем, что известно о данном районе в местных учебных обществах, музеях, библиотеках, школах. Необходимо собрать сведения среди местного населения обо всех тех местах, где добывают руду, где имеются естественные обнажения. В ряде случаев очень важен анализ географических названий, которые нередко указывают на существование в данной местности рудников или добычи; например, в Средней Азии слово «кан» говорит о руднике, «кумыш» – о серебре, «калба» – об олове или бронзе и так далее. Если где-либо идет стройка дома или настиляется мостовая, нужно расспросить, откуда привозится материал; выяснить, где проводят новую дорогу, строят мосты или железнодорожную линию, надо расспросить, где роют колодцы, где берут глину для печей, известку или краску для домов.

Местное население нередко помнит о том, что в данном районе раньше работали изыскательские партии; у многих старожилов сохранились воспоминания о руде в том или ином районе. В ряде районов очень важно выяснить наличие древних выработок, старых отвалов руды и шлаков, остатков плавильных печей и так далее.

Конечно, наибольший материал для предварительного знакомства с минералогией и геохимией района дают не столько естественные обнажения, сколько искусственные выработки, именно отвалы при рудниках и разработках, которые доставляют минералогу и геохимику незаменимый и притом нередко совершенно свежий материал. В рудных месторождениях накапливаются громадные количества тех спутников, которые сопровождают руду, и поэтому в отвалах копей нередко можно собрать интересный материал, если в течение многих дней исследовать каждую новую добычу и определять минералы при дневном свете в только что отломанных образцах. Отвалы и штабеля добытой руды и камня в общем дают минералогу или геохимику гораздо более ценный материал, чем сами подземные выработки, где в забоях трудно вести точные наблюдения<sup>[82]</sup>.

На открытых разработках и в рудниках очень полезно беседовать с рабочими, расспрашивать о встречающихся образцах, обращать их внимание на интересные образцы, просить их откладывать все, что бросится им в глаза. Можно и нужно заинтересовать местное население, посвящая его в свою работу и рассказывая о тех полезных ископаемых, которые необходимо разыскать. Создание определенного общественного мнения, сочувствие и содействие со стороны местного населения – один из важнейших факторов успеха в поисках. Местное население начинает интересоваться работой экспедиции, даже дети с охотой помогают: приносят с реки образцы галек и валунов; и надо сказать, что нередко самые крупные новые месторождения открывает местное население.

В каждом данном обнажении, каменоломне, разработке и руднике нужно стараться собрать образцы всех минеральных тел, которые здесь встречаются, обращая внимание как на крупные их скопления, так и на ничтожные следы, указывающие на наличие тех или иных геохимических процессов.

Сбор материалов, конечно, должен сопровождаться наблюдениями над залеганием минералов в породе, над их соотношением, возрастом и так далее. Первичное ознакомление с районом дает возможность исследователю правильно подойти к геохимическому исследованию его.

Геолог и петрограф начинают свою работу в поле с изучения общей геологической обстановки, тектоники, взаимоотношений горных пород; для этой цели обычно необходимо сначала широко охватить всю территорию и потом уже приступить к детальному изучению данного конкретного участка.

Работа геохимика протекает обычно иначе; он по существу своей работы должен начать с конкретного материала, то есть с самого месторождения.

Познакомившись с геологической схемой района, он должен начинать свои исследования со штабелей добытой руды и отвалов боковой

породы. Так намечается довольно резко различие в методах подхода к работе у геологов и геохимиков в условиях экспедиции или экскурсии.

Прибыв на какое-либо месторождение, геолог идет немедленно в штольню или шахту для осмотра забоев, а также в первую очередь наблюдает выходы отдельных пород, естественные обнажения и так далее.

Геохимик и минералог направляются прежде всего к штабелям руды и отвалам. В самый забой они должны идти только тогда, когда их глаз на свету научится различать отдельные минералы, так как определение видов минералов при искусственном освещении забоя представляет очень трудную задачу и возможно лишь при большом опыте. Только после тщательного изучения минералов в штабелях и отвалах геохимик должен перейти к исследованию более общих генетических и геохимических задач, для чего он переносит свою работу на изучение естественных обнажений и на детальное исследование самих забоев и имеющихся зарисовок.

Отсюда становится совершенно понятным, почему минералог и геохимик, придя на рудник, направляются обычно даже не к штабелям руды, а к отвалам боковой породы.

Я лично нередко наблюдал, с каким удивлением, а иногда и прямо неудовольствием смотрели на меня инженеры и техники, когда, приехав на место, я осматривал вначале отвалы, а затем рудник.

Мы не должны забывать, что разгадка самых сложных проблем месторождения и понимание его генезиса дается лишь путем детального изучения всех наблюдаемых минеральных комплексов, их соотношения между собой, их связи с боковыми породами и так далее.

Таким образом, намечается следующая последовательность работы геохимика при первом сборе научных материалов: детальный осмотр отвалов, потом штабелей; далее – забоев в открытых разработках, обнажений и лишь после всего этого – осмотр подземных выработок и изучение соотношений минералов в свежих подземных забоях.

Как мы уже говорили выше, сбор материалов должен сопровождаться постоянным анализом всех минералогических и геохимических соотношений, а потому необходимо, чтобы геохимик заострил свое внимание на детальном сопоставлении всех наблюдений. Я вспоминаю, что намеченная мною теория связи пегматитовых процессов с образованием изумрудов на Изумрудных коях долгое время не встречала сочувствия, пока несколько ничтожных кристаллов колумбита не подтвердили, что мы имеем дело с типичными гранитными пегматитами.

Продумывая все свои наблюдения, геохимик должен мысленно устанавливать соотношения между отдельными минералами, воссоздавать те условия, при которых они образовались, основываясь

на своем опыте, подвергать все данные сравнительному анализу и таким образом постепенно приходить к той или иной рабочей гипотезе о генезисе данного месторождения. Такая гипотеза совершенно необходима для дальнейшей работы поискового и разведочного характера, но нужно не забывать, что рабочая гипотеза не должна заслонять самих фактов. Если факты идут вразрез с гипотезой, то надо ее отбросить. Самая глубокая самокритика и самоанализ необходимы при этой работе, и успех поисковых и разведочных работ заключается именно в умении из маленьких, еле заметных фактов строить такие выводы, которые могли бы связать все явления между собой и подсказать те, которые еще не известны. Всякая рабочая гипотеза хороша только постольку, поскольку она намечает новые пути.

Я сознательно заостряю внимание на этом вопросе, ибо очень часто полевые работники не хотят отказаться от своей первой рабочей гипотезы даже тогда, когда новые факты начинают решительно ей противоречить.

Вместе с тем необходимо подчеркнуть еще одно положение, которое, к сожалению, в работах последнего времени не всегда проводится в жизнь достаточно резко. Исследователь должен четко различать самый факт и его наблюдения, с одной стороны, и теоретические и общие выводы – с другой. Как в полевых, так и в окончательных отчетах исследователь должен резко разделять эти две стороны так, чтобы каждый мог видеть, где кончается фактический материал наблюдений и где начинаются логические и теоретические построения автора. Необходимо предостеречь молодых исследователей от увлечения заключительными выводами, отодвигания на задний план конкретного фактического материала, так как выводы без фактов оказываются висящими в воздухе.

Вот почему приходится с особой настойчивостью подчеркивать необходимость точного и тонкого наблюдения самих явлений природы.

Исследователь в поле должен записывать все те мелочи, которые бросаются ему в глаза при наблюдении. Он должен превратить свою полевую записную книжку в постоянный дневник собственных мыслей и наблюдений, и только этим путем он сможет прийти к правильным выводам и решениям. При этом приходится довольно резко различать характер работ и записей в первый год посещения какого-либо месторождения или района и в последующие годы. При первом посещении необходимо особенно следить за накоплением чисто фактического материала; при втором обычно возникает уже необходимость проверки созданной рабочей гипотезы; наконец, при третьем выявляются уже проблемы общего характера, и обычно именно третий год приносит новые открытия и подсказывает направление точных поисков<sup>[83]</sup>. Сокращение этих сроков, возможно, зависит от опыта исследователя и от того, насколько до него данное месторождение или район были изучены с геологической и минералогической точек зрения.

Значительно ускоряются окончательные выводы, если во время полевых работ проводить предварительные определения встречающихся минералов и горных пород. Переносные геохимические лаборатории, возможность во время работ отдавать некоторые образцы для количественных анализов в ближайшие лаборатории в значительной степени облегчают ход полевых исследований и позволяют скорее подойти к окончательным выводам.

## **Краткие сведения о химических элементах<sup>[84]</sup>**

*Азот* – Nitrogenium (N). Атомный номер 7; атомный вес 14,008. Бесцветный газ, составляющий  $\frac{4}{5}$  объема окружающего нас воздуха. Первые указания на существование азота как особого вещества принадлежат Д. Резерфорду (1772), однако только Лавуазье доказал, что он является элементом, и дал ему современное название – азот (по-гречески – «безжизненный»). Латинское название Nitrogenium произошло от «нитрон» – «селитра» и «генус» – «род», порождающий селитру. В природе, кроме воздуха, азот встречается во всех живых организмах, а также в виде селитр – нитратов натрия и калия. Азот переводится в жидкое состояние при температуре 195,8 °С, затвердевает при 210 °С. Свободный азот применяется в электролампах; соединения его имеют громадное значение как удобрение и как составная часть взрывчатых веществ.

*Актиний* – Actinium (Ac). Атомный номер 89, атомный вес 227. Открыт в 1899 г. А. Дёбьерном в урановой смоляной руде. Актиний – радиоактивный продукт распада урана, с периодом полураспада в 20 лет. В результате дальнейшего распада актиния последовательно образуется ряд радиоактивных элементов, называемых актиниевым рядом. Конечным членом актиниевого ряда является AcD, изотоп нерадиоактивного свинца, с атомным весом 207. Актиний и его соединения мало изучены.

*Актиноиды.* Химические элементы, следующие за актинием, составляют группу элементов, очень близких по своему химическому составу. В этой группе должно находиться 15 химических элементов: от № 89 до 103; тринадцать из них уже открыты или получены искусственно: актиний, торий, уран, нептуний, плутоний, америций, кюрий, берклий, калифорний, эйнштейний, фермий, менделевий и нобелий. Первые три из них встречаются в природных условиях. Нептуний и плутоний – в ничтожно малых количествах.

Химические свойства актиноидов весьма схожи с лантаноидами и в таблице Периодической системы Менделеева относятся к III группе,

однако и те и другие вынесены за пределы таблицы и размещены в два ряда внизу таблицы.

*Алабамий*. Д. И. Менделеев предвидел существование элемента с атомным номером 85 и предсказал его свойства (экайод). В 1931 г. в Америке было опубликовано сообщение об открытии элемента с атомным номером 85, названного алабамием, однако открытие не подтвердилось. Позднее открытый 85 элемент назван был астатином. См. *астатин*.

*Алюминий* – Aluminium (Al). Атомный номер 13; атомный вес 26,98. Самый распространенный элемент в земной коре после кислорода, водорода и кремния. По весу его в земной коре 7,5 %. Серебристо-белый, очень легкий металл. Уд. в. 2,7, плавится при 660 °С, кипит при 2060 °С. Входит в состав глин, полевых шпатов, слюд и многих других минералов. Главная масса алюминия в природе сосредоточена в алюмосиликатах – минералах, состоящих из алюминия, кремния, кислорода и некоторых металлов. Особенно богаты алюминием бокситы – водные окислы алюминия. Добывается алюминий главным образом из бокситов, а также из нефелинов. Сплавы алюминия широко применяются на транспорте, в самолетостроении, а также в различных отраслях промышленности. Выделен был в чистом виде Вёлером в 1827 г. Название произошло от слова «алюмен» – «квасцы».

*Америций* – Americium (Am). Атомный номер 95; атомный вес наиболее устойчивого изотопа с периодом полураспада около 10 000 лет – 243. Получен в 1944 г. искусственным путем при бомбардировке нейтронами урана как продукт радиоактивного распада плутония. В настоящее время известно несколько изотопов. По своим химическим свойствам он очень схож с редкоземельными элементами.

*Аргон* – Argon (Ar). Атомный номер 18; атомный вес 39,944. Принадлежит к группе инертных газов, которые не дают соединений ни друг с другом, ни с какими-либо другими веществами и этим резко отличаются от всех других элементов. Пассивность аргона и обусловила его название: «аргон» по-гречески – «недеятельный». Открыт У. Рамзаем и Релеем (Англия) в 1894 г., сжижается при –186 °С, затвердевает при –189 °С. В природе встречается как составная часть воздуха, содержание аргона в котором около 1 %. Употребляется аргон как наполнитель газосветных трубок с синим свечением.

*Астатин* – Astatine (At). Атомный номер 85; атомный вес наиболее долгоживущего изотопа с периодом полураспада в 8,3 ч. равен 210. Впервые получен в 1940 г. при бомбардировке висмута альфа-частицами. Название получил от греческого слова «астатос» – «неустойчивый». Известно 20 изотопов. Свойства его вполне совпадают с предсказаниями Д. И. Менделеева, который дал ему название экайод.

*Афиний* – Arhinium (An). См. *эйнштейний*.

**Барий** – Barium (Ba). Атомный номер 56; атомный вес 137,36. Открыт в 1774 г. шведским химиком К. В. Шееле; в элементарном виде выделен английским химиком Г. Дэви в 1808 г. Название произошло от минерала барита, из которого он был получен («барус» – «тяжелый»). Серебристо-белый металл, равный по твердости свинцу, уд. в. 3,5, температура плавления 704 °С, кипения – 1540 °С, окрашивает пламя в характерный желтовато-зеленый цвет. Соли бария – хороший белый краситель.

**Бериллий** – Beryllium (Be). Один из самых легких металлов. Атомный номер 4; атомный вес 9,013. Открыт в 1798 г. французским химиком Л. Вокеленом и назван им глюцинием благодаря сладковатому вкусу его солей. Это название сохранилось лишь во Франции. Слово «бериллий» произведено от минерала берилла. Бериллий очень твердый, белый металл (уд. в. 1,82, плавится при 1284 °С, кипит при 2970 °С), устойчив на воздухе. Применяется для получения сплавов с медью (бериллиевые бронзы) и другими металлами, отличающихся твердостью стали и «неутомимостью» при резком изменении нагрузки (часовые пружины). В природе бериллиевые минералы в виде больших скоплений встречаются редко.

**Берклий** (беркелий) – Berkelium (Bk). Атомный номер 97. Этот элемент был получен искусственным путем при радиоактивном  $\beta$ -распаде ряда трансурановых элементов, полученных при бомбардировке урана нейтронами, как промежуточный член после кюрия, а также при бомбардировке изотопа америция с атомным весом 249  $\alpha$ -частицами. Периоды полураспада открытых до настоящего времени изотопов беркелия не превышают нескольких часов. Назван по городу Беркли в штате Калифорния в США.

**Бор** – Boron (B). Атомный номер 5; атомный вес 10,82. Открыт в 1808 г. Дэви в Англии и Гей-Люссаком и Тенаром во Франции. Название произошло от слова «borax» – «бура». Кристаллический бор, выделенный из сплава с алюминием, обладает твердостью, близкой к твердости алмаза, уд. в. 2,3, плавится при 2075 °С, кипит при 2550 °С. В природе бор встречается в виде борной кислоты, буры и некоторых других боратов. Применяется главным образом для изготовления эмалей, а также в медицине. Соединения бора с углеродом и азотом обладают чрезвычайно высокой твердостью.

**Бром** – Bromum (Br). Атомный номер 35; атомный вес 79,916. Открыт Балардом в 1826 г. и назван так из-за своего неприятного запаха («бромос» – «зловонный»). Бром – темно-бурая тяжелая жидкость, уд. в. 3,12, затвердевает при –7,25 °С, кипит при 59 °С; как все галогены, чрезвычайно активен, вступает в соединение почти со всеми элементами; особенно энергично протекает реакция с металлами. При соприкосновении с кожей бром оставляет на ней тяжелые ожоги. В природе встречается в морской воде в форме бромидов, преимущественно натрия и магния. Богаты бромидами соленые озера Крыма, некоторые источники в Старой Руссе и пр. Частично добывается

из буровых вод нефтеносных районов. Применяется в фотографической промышленности, в медицине, при синтезе красителей.

*Ванадий* – Vanadium (V). Атомный номер 23; атомный вес 50,95. Открыт в 1830 г. шведским химиком Сёвстремом и назван в честь богини Ванадис. В следующем году соединения ванадия изучали многие крупные химики (Берцелиус, Вёлер и др.). Ванадий – металл серо-стального цвета, весьма твердый, но не хрупкий. Уд. в. 5,8, плавится при 1735 °С, кипит при 3400 °С. Довольно широко распространен в природе, однако лишь в рассеянном состоянии. Добывается из титано-магнетитовых руд, из битуминозных сланцев, имеется в нефтях и в золе каменных углей. Главная область применения ванадия – производство высококачественной стали, феррованадий, отличающейся большой прочностью, упругостью, сопротивлением разрыву. Большое значение имеют сплавы с алюминием. Применяется как катализатор в химической промышленности; в керамике – как краситель; в фотографии – для тонирования отпечатков, а также в медицине и в животноводстве.

*Виргиний*. Под этим названием Аллисон описал элемент с атомным номером 87. Сведения оказались неверными, и факт обнаружения этого элемента не был подтвержден. См. *франций*.

*Висмут* – Bismuthum (Bi). Атомный номер 83; атомный вес 209,00. Розовато-белый хрупкий металл. Соединения висмута известны были еще в древности, но висмут раньше не отличали от свинца; в свободном виде выделен впервые алхимиком Василием Валентином в XV в. В 1530 г. описан Г. Агриколой. Легкоплавок, уд. в. 9,8, плавится при 271 °С, кипит при 1560 °С. Входит в состав легкоплавких и твердых сплавов, применяемых в типографском деле, в различных противопожарных приспособлениях. Интересен сверхпроводимостью тока при температурах, близких к абсолютному нулю.

*Водород* – Hydrogenium (H). Атомный номер 1; атомный вес 1,008. Самый легкий элемент, первый в Периодической системе элементов. На долю водорода из всей массы земной коры, считая воду и воздух, приходится около 1 %. Водород – бесцветный, самый легкий газ, в 14 раз легче воздуха. Был открыт в первой половине XVI в. Парацельсом, который получил водород действием железа на серную кислоту. В 1766 г. Кавендиш установил его свойства и указал отличия от других газов. Лавуазье в 1783 г. первый получил водород из воды и доказал, что вода есть химическое соединение водорода с кислородом. На земле водород встречается только в соединениях – в воде, нефти, в тканях живых клеток, а в свободном состоянии лишь в незначительных количествах – в верхних слоях атмосферы. Водород также выделяется при вулканических извержениях. При помощи спектроскопа водород обнаружен на Солнце и на звездах. Сжижается при –252,8 °С, затвердевает при –259 °С. Вещество космоса, по современным представлениям, состоит на 30–50 % из свободного водорода, ядро водорода – протон – является основным кирпичом мироздания. Кроме

водорода с атомным весом 1, существуют еще два изотопа с атомным весом 2 и 3 (дейтерий и тритий), которые в соединениях с кислородом дают «тяжелую воду». Водород применяется для наполнения дирижаблей, аэростатов, при автогенной сварке, в химической промышленности для гидрогенизации жиров, для получения аммиака, для получения искусственной нефти и метана из каменного угля и др. Водород и его изотопы широко используются в ядерных реакциях и для получения термоядерных (водородных) бомб.

*Вольфрам* – Wolframium (W). Атомный номер 74; атомный вес 183,92. Открыт шведским химиком Шееле в 1781 г., в минерале тунгстене, названном впоследствии шеелитом, в чистом виде получен Вёлером лишь в 1850 г. В Англии и во Франции вольфрам называют тунгстен. Вольфрам – тяжелый металл (уд. в. 19,3) серебристо-белого цвета, с высокой температурой плавления (3380 °С, которая используется в так называемых вольфрамо-водородных горелках) и температурой кипения 5930 °С. Не окисляется и не растворяется в кислотах, за исключением царской водки. Тугоплавок. Идет на изготовление быстрорежущей стали и сверхтвердых сплавов, которые носят названия: «победит», «видиа», «карболой». Победит по твердости близок к алмазу и применяется для бурения самых твердых пород. Из вольфрама изготавливают волоски для электроламп. Вольфрам применяется также для изготовления химической посуды и для контактов как заменитель более дорогой платины.

*Гадолиний* – Gadolinium (Gd). Из группы редкоземельных элементов. Атомный номер 64; атомный вес 156,9. Открыт был впервые в 1800 г. швейцарским химиком Ж. Ш. Мариньяком; название свое получил в 1886 г. в память финского ученого Ю. Гадолина.

*Галлий* – Gallium (Ga). Атомный номер 31; атомный вес 69,72. Один из элементов, свойства которого были предсказаны Д. И. Менделеевым (экаалюминий). Открыт в 1875 г. французским ученым П. А. Лекок де Буабодраном методом спектрального анализа в цинковой обманке и назван в честь Франции, старинное название которой – Галлия. Галлий – серебристо-белый мягкий металл, уд. в. 5,9, с низкой температурой плавления +29,8 °С (плавится в руке) и высокой температурой кипения 2300 °С; твердый галлий легче жидкого и поэтому плавает в своем расплаве. При этом обладает свойством переохлаждения; принадлежит к числу редких рассеянных элементов; применяется для изготовления термометров, которыми можно измерять широкий интервал температур, вместо ртути, для изготовления светящихся составов, а также для получения оптических зеркал.

*Гафний* – Hafnium (Hf). Атомный номер 72; атомный вес 178,6. Хотя гафний является более распространенным элементом, чем золото и серебро, и встречается в некоторых минералах в количестве до 30 %, открыт он был рентгено-спектральным путем в соединениях циркония лишь в 1923 г. датским физиком Костером и венгерским химиком Г.

Хевеши. Чрезвычайно близок по химическим свойствам цирконию, от которого трудно отделим. Металлический гафний весьма тверд, уд. в. его – 13,3, имеет высокую температуру плавления – 2230 °С, кипит при 5300 °С. В виде окислов входит в сплавы для нитей электронных ламп. Намечается применение его в радиопромышленности и в качестве сверхогнеупора. Название происходит от названия столицы Дании – Копенгагена (Hafnia).

*Гелий* – Helium (He). Инертный (благородный) газ. Атомный номер 2; атомный вес 4,003. Спектроскопически линии гелия в атмосфере Солнца впервые были обнаружены французским астрономом Ж. Жансеном и независимо от него английским астрономом Н. Локьером в 1868 г. Английский ученый У. Рамзай в 1895 г. выделил этот газ из минерала клевета. Название произошло от слова «гелиос» – «солнце». После водорода гелий является самым легким из всех газов; он в 8 раз легче воздуха. В природе встречается не только в атмосфере, но и выделяется из недр земли вместе с другими природными газами. Выделяется также из других минералов – как, например, фергусонит, монацит и пр. Гелий образуется при радиоактивном распаде элементов; альфа-частица, вылетающая из ядра атома радиоактивного элемента, представляет собой положительно заряженное ядро гелия – гелион. Она широко используется при ядерных реакциях. Используется гелий для заполнения дирижаблей вместо водорода или вместе с ним для предохранения от взрывов. Подъемная сила гелия составляет 93 % подъемной силы водорода. Применяется гелий также для хранения пищевых продуктов, для продувания пустот при металлоплавке, в водолазном деле. При затвердевании и сжижении гелия достигнуты самые низкие температуры на земле, близкие к абсолютному нулю (– 272,2 °С и –268,9 °С).

*Германий* – Germanium (Ge). Атомный номер 32; атомный вес 72,60. Один из элементов, свойства которого были предсказаны Д. И. Менделеевым (экасилиций). Открыт в 1886 г. К. Винклером в минерале аргиродите, где находится в количестве 7 %. Имеется в золе каменных углей. Обладает как металлическими, так и неметаллическими свойствами. Уд. в. 5,36. Плавится при 959 °С, кипит при 2700 °С. Имеет большое применение в радиотехнике, для изготовления полупроводников, светящихся составов, при производстве специальных сортов стекла и пр.

*Глюциний* – Glucinium (Gl), см. *бериллий*.

*Гольмий* – Holmium (Ho). Из группы редкоземельных элементов. Атомный номер 67; атомный вес 164,94. Открыт шведским химиком Клеве в 1880 г. Цвет солей гольмия розовый. Назван по имени столицы Швеции – Стокгольм.

*Двумарганец*, см. *рений*.

*Диспрозий* – Dysprosium (Dy). Из группы редкоземельных элементов. Атомный номер 66; атомный вес 162,46. Открыт был Лекок де Буабодраном в 1886 г. Название получил от греческого слова «диспрозитос» – «труднодоступный».

*Европий* – Europium (Eu). Из группы редкоземельных элементов. Атомный номер 63; атомный вес 152,0. Открыт Демарсе в 1901 г. Соли европия розового цвета.

*Железо* – Ferrum (Fe). Атомный номер 26; атомный вес 55,85, уд. в. 7,9, температура плавления 1539 °С, температура кипения 2740 °С. Известно с глубокой древности. Название, вероятно, связано с санскритским корнем «жель» – блеснуть, пылать. Легко окисляется и вообще соединяется с другими элементами, поэтому трудно его получить в чистом виде. Металлическое железо имеет серо-стальной цвет, ковко. Обладает наивысшими магнитными свойствами из всех металлов. Соединения железа с углеродом (стали, содержащие углерода – 0,2–2 %, и чугуны – 2,5–4 %) представляют основу металлургической промышленности нашего века. Главнейшие руды: красный железняк, или гематит, –  $Fe_2O_3$ , магнитный железняк –  $Fe_3O_4$ , карбонат железа, или сидерит, –  $FeCO_3$  и гидроокислы железа –  $Fe_2O_3$  и  $H_2O$ . Количество железа в земной коре составляет 4,7 %, в космосе его больше. Метеориты состоят в большей своей части из железа. Горные породы, в которых содержание железа более 30 %, являются железными рудами. Запасы железа в таких рудах во всем мире выражаются цифрой в 10 миллиардов тонн.

*Заурановые элементы.* Заурановыми или трансурановыми элементами называются элементы, стоящие в периодической системе Д. И. Менделеева за ураном и имеющие атомные номера от 93 и выше. Все они получены искусственным путем. Первым из них был изучен нептуний (1939 г.). Заурановые элементы радиоактивны. Продолжительность жизни их значительно меньше возраста нашей планеты. Поэтому они не были обнаружены в природе<sup>[85]</sup>. В настоящее время известны следующие заурановые элементы: нептуний, плутоний, америций, кюрий, берклий, калифорний, эйнштейний, фермий, менделевий и нобелий.

*Золото* – Aurum (Au). Атомный номер 79; атомный вес 197,2. Известно с глубокой древности. Золото – ковкий и мягкий металл, очень устойчивый против химического воздействия окислителей. Растворяется только в царской водке. Трудно вступает в соединения с другими элементами; в природе обычно встречается в форме самородков или вкраплений в горных породах, а также в виде сплавов с серебром и соединений с селеном и теллуром. Уд. в. химически чистого золота – 19,3 (природного, содержащего 15–25 % серебра, – 15–16). Плавится при 1063 °С, кипит при 2966 °С. Тонкие листочки золота просвечивают зеленым цветом. Золото – валютный металл, и этим главным образом определяется его

значение. Технические же применения незначительны: контакты, золочение изделий, в фотографии и в медицине и др.

*Иллиний* (Il). Под этим названием был описан элемент с атомным номером 61. Факт его обнаружения не подтвердился. См. *прометий*.

*Индий* – Indium (In). Атомный номер 49; атомный вес 114,76. Открыт в 1863 г. при помощи спектрального анализа Рейхом и Ф. Рихтером; назван по темно-синим, цвета индиго, линиям спектра. В свободном состоянии индий представляет собой серебристо-белый металл, по твердости мягче свинца, уд. в. 7,3, плавится при 156 °С, кипит при 2000 °С. Относится к мало распространенным рассеянными элементам в природе; богатые им минералы неизвестны<sup>[86]</sup>; в виде же незначительных примесей соединения индия содержатся в рудах многих металлов, особенно цинка. Индий является лучшим металлом для изготовления зеркал. Присадка индия к сплавам меди и серебра придает им прочность. Употребляется в зубоврачевании в форме добавок в материалы пломб. Летучие соединения окрашивают пламя в сине-фиолетовый цвет.

*Йод* – Iodum (I). Атомный номер 53; атомный вес 126,91. Типичный неметалл. При обычных условиях йод – твердое тело, легко летучее и хорошо растворимое в ряде органических растворителей. Химически активен, соединяется непосредственно со многими металлами. Открыт был в 1811 г. Б. Куртуа. В промышленности получают его из соли NaIO<sub>3</sub>, залегающей вместе с чилийской селитрой. Встречается также в нефтяных водах, в морских водорослях, из которых и добывается. Принадлежит к рассеянным в природе элементам. Назван от греческого слова «йодес» – «фиалка», по цвету его паров. Черные кристаллы, уд. в. 4,93, плавятся при 113 °С, кипят при 184 °С. Находит широкое применение в медицине, в рентгенотерапии, для получения поляризационных стекол, в фотографии и в красителях.

*Иридий* – Iridium (Ir). Атомный номер 77; атомный вес 192,2. Был открыт С. Теннантом в 1804 г. при исследовании платиновых руд. Название получил от латинского слова «иридис» – «радужный» (по разноцветным растворам его солей). Один из наиболее тяжелых металлов (уд. в. 22,5). Отличается большой твердостью, химической устойчивостью; плавится при 2443 °С, кипит при 5300 °С. В природе встречается как спутник платины. Применяется в чистом виде для тиглей, электропечей с высокой температурой нагрева, для термоэлементов. Имеет большое применение в сплавах. Добавка 10 % иридия к платине делает этот сплав очень твердым, из него изготавливают эталоны меры веса и длины.

*Иттербий* – Ytterbium (Yb). Элемент из группы редкоземельных элементов. Атомный номер 70; атомный вес 173,04. Открыт в 1878 г. Мариньяком из иттриевой земли. Название произошло от маленького шведского городка Иттерби, знаменитого своими пегматитами, содержащими минералы с редкоземельными элементами.

*Иттрий* – Yttrium (Y). Атомный номер 39; атомный вес 88,92. По своим свойствам и совместному нахождению в природе очень близок к семейству лантаноидов. В больших количествах в природе встречается в минералах ксенотиме и гадолините. Открыт был в 1794 г. финским химиком Гадолином в иттриевой земле, где находится с другими редкоземельными элементами; в чистом виде получен впервые Ф. Вёлером в 1828 г. Практическое применение пока весьма незначительно, уд. в. 5,5, плавится при 1450 °С, кипит при 2500 °С.

*Кадмий* – Cadmium (Cd). Атомный номер 48; атомный вес 112,41. Серебристо-белый металл. Открыт в 1817 г. Ф. Штроемeyerом и независимо от него Германом и назван от греческого слова «кадмес» – «руда цинковая». По своим свойствам очень сходен с цинком и в природе его постоянно сопровождает. Встречается в природе в форме сульфида (CdS) – гринокит<sup>[87]</sup>. Применяется вместо цинка для покрытия железа, в сплавах с медью для увеличения прочности медных проводов, в легкоплавких сплавах, для получения желтого красителя, для щелочных аккумуляторов и нормальных элементов. Уд. в. 8,65, температура плавления 320,9 °С, кипения – 767 °С.

*Калий* – Kalium (K). Атомный номер 19; атомный вес 39,1. Уд. в. 0,86, плавится при 63 °С, кипит при 770 °С. Впервые был выделен в 1807 г. Дэви электролизом из едкого кали. Название от арабского слова «алкали» – «щелочь». В природе в свободном состоянии не встречается, распространен в виде силикатов и галогенидов. В Соликамске имеются богатые месторождения хлористого калия. Изотоп калия с атомным весом 40 радиоактивен<sup>[88]</sup>. Калий – металл серебристо-белого цвета, на воздухе быстро окисляется, почему и хранится в керосине. Мягок, как воск; легче воды. Пары металла калия окрашены в сине-зеленый цвет. Соли калия окрашивают пламя в фиолетовый цвет. Дает с натрием сплав, жидкий при обыкновенной температуре, который может заменить ртуть в термометрах. Металлический калий имеет незначительное применение, так как заменяется более дешевым натрием. Применяется для фотоэлементов, т. е. приборов, непосредственно трансформирующих световую энергию в электрическую.

*Калифорний* – Californium (Cf). Атомный номер 98. Получен в 1950 г. при β-распаде беркелия, или искусственным путем при бомбардировке изотопа кюрия α-частицами или действием на нептуний ядрами углерода. Период полураспада изотопа с атомным весом 249 составляет 35 часов. Назван по имени штата Калифорния в США.

*Кальций* – Calcium (Ca). Атомный номер 20; атомный вес 40,08. Соединения кальция известны в глубокой древности. В свободном виде открыт Г. Дэви и Берцелиусом в 1809 г. Название от «кальке» – «мягкий камень» (известняк). Принадлежит к группе щелочноземельных металлов; ковкий, довольно твердый белый металл, уд. в. 1,54, плавится при температуре 851 °С, кипит при 1440 °С. В природе кальций широко распространен в виде карбонатов, фосфатов, сульфатов, фторидов,

силикатов и др. Среднее содержание кальция в земной коре – 3,4 %; только пять элементов (O, H, Si, Al, Fe) встречаются в больших количествах. Металлический кальций особого применения пока не имеет. Ион кальция регулирует деятельность сердечной мышцы, оказывает защитное действие против гемофилии. Соли кальция имеют весьма обширное применение как удобрение (известняк, известь), в строительном деле, химической промышленности и пр.

*Кассиопей* – Cassiopeum (Ср). Принятое в некоторых странах название элемента – лютеций. См. *лютеций*.

*Кислород* – Oxygenium (O). Атомный номер 8; атомный вес 16. Название буквально значит «рождающий кислоту». Открыт был несколькими учеными почти одновременно, но природу его понял и вскрыл в 1774 г. английский химик Дж. Пристли. В 1769–1770 гг. был выделен шведским химиком К. Шееле. Чрезвычайно распространен в природе, составляет по весу 49,5 % земной коры. Сжижается при  $-182,97\text{ }^{\circ}\text{C}$ , затвердевает при  $-218,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Играет огромную роль в природных процессах, входит в состав воды и воздуха, в состав большинства минералов, организмов. Используется широко в металлургии (при выплавке чугуна), для автогенной сварки в смеси с водородом или ацетиленом, в медицине и некоторых химических производствах; жидкий кислород или жидкий воздух применяют как сильные взрывчатые вещества.

*Кобальт* – Cobaltum (Co). Атомный номер 27; атомный вес 58,94. Уд. в. 8,9, плавится при  $1492\text{ }^{\circ}\text{C}$ , кипит при  $2900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Открыт в 1733 г. шведским химиком Г. Брандтом и назван от слова «кобольд» – «горный дух», «гном». Металл серовато-белого цвета, значительной твердости, ковкий, тягучий. Магнитен, но менее, чем железо. В раздробленном состоянии может поглощать большие количества водорода. По физическим и химическим свойствам близок к железу. В природе встречается: в метеоритах – в сплавах с никелем и железом, в земной коре – в соединениях с мышьяком и серой. Применяется для получения специальных сверхтвердых сталей (победит) и др.; как катализатор для получения моторного топлива из углей; входит в состав красителей; окись кобальта окрашивает в синий цвет стекла и эмали. Радиоактивный изотоп (60), имеет большое применение.

*Кремний* (силиций) – Silicium (Si). Атомный номер 14; атомный вес 28,09. После кислорода самый распространенный элемент. В природе никогда не встречается в свободном виде, а образует соединения с кислородом – так называемый кремнезем или соли кремниевой кислоты (силикаты). Из кремнезема состоят минералы горный хрусталь, кварц и многочисленные его разновидности. Важнейшие технические продукты, как стекло, фарфор, цемент, кирпич, в основном изготавливаются из силикатов. Входит в состав многих главных горных пород, таких как гранит, базальт, гнейсы, порфир, сиенит и др. Открыт Гей-Люссаком и Тенаром в 1811 г. Однако его природа как элемента была установлена лишь в 1823 г. шведским химиком И. Берцелиусом. Кремний имеет уд. в.

2,4, плавится при 1415 °С, кипит при 2360 °С. Название «кремний» произведено от латинского «лапис креманс» – «производящий огонь». Латинское название «силиций» – от слова «силекс» – «камень». С металлами дает силициды, соединения твердые и кислотоупорные. С углеродом – карбид кремния – карборунд, по твердости не уступающий алмазу. Отсюда его применение для обработки твердых материалов.

*Криптон* – Krypton (Kr). Атомный номер 36; атомный вес 83,80. Инертный газ, открытый английскими химиками У. Рамзаем и М. Траверсом в 1898 г., назван от греческого слова «криптос» – «скрытый». В природе встречается как составная часть воздуха, в котором содержится в ничтожном количестве. Сжижается при –152,9 °С, затвердевает при –157 °С. У криптона известно много изотопов.

*Ксенон* – Xenon (Xe). Атомный номер 54; атомный вес 131,3. благородный газ, открытый в 1898 г. У. Рамзаем и М. Траверсом одновременно с криптоном и неоном. Название от греческого «ксенос» – «чужой». В природе встречается в виде ничтожной примеси в воздухе. Тяжелее воздуха в четыре с половиной раза. Температура сжижения (кипения) –108 °С, затвердевания (плавления) –111 °С. Как и криптон, применяется в рентгенокопии, так как оба задерживают рентгеновские лучи.

*Кюрий* – Curium (Cm). Атомный номер 96. Получен в 1944 г. искусственным путем при β-распаде америция и из плутония при бомбардировке его α-частицами. Сейчас известно несколько изотопов кюрия. Наиболее долгоживущим изотопом является изотоп с атомным весом 245. Его период полураспада – более 500 лет. По химическим свойствам кюрий похож на редкоземельные элементы. Назван в честь Марии Кюри.

*Лантан* – Lanthanum (La). Один из редкоземельных элементов, принадлежит к III группе Периодической системы. Атомный номер 57; атомный вес 138,92. Открыт в 1839 г. шведским химиком К. Мозандером и назван от греческого слова «лантанейн» – «скрывать». Белый металл, уд. в. 6,15, более твердый, чем олово. Плавится при 826 °С, кипит при 1800 °С. При высокой температуре лантан довольно активен. Входит, как составная часть, в сплав, употребляемый для «кремней» в зажигалках, дает сплавы с платиной, алюминием. Сильно поглощает водород.

*Лантаноиды* (лантаниды), см. *редкоземельные элементы*.

*Литий* – Lithium (Li). Самый легкий металл. Атомный номер 3; атомный вес 6,940. Открыт в 1817 г. шведским химиком И. А. Арфведсоном; назван от слова «литос» – «камень». Относится к группе щелочных металлов, отличается большой химической активностью и по своим свойствам близок к натрию. Литий легче воды (уд. в. 0,53), плавится при 186 °С, кипит при 1336 °С. Соли лития окрашивают пламя в ярко-красный цвет. Встречается литий в природе только в соединениях в некоторых

минералах, как то: сподумен, лепидолит и др.; следы лития обнаруживаются в водах многих минеральных источников. Употребляется для изготовления аккумуляторов для подводных лодок, в специальных сплавах, при сварке алюминиевых изделий; соли его употребляются в медицине.

*Лютеций* – Lutetium (Lu). Из группы редкоземельных элементов. Атомный номер 71, атомный вес 174,99. Открыт в 1907 г. Ж. Урбенем во Франции и несколько раньше в 1906 г. австрийским химиком К. Ауэром фон Вельсбахом. Первый из них назвал его лютецием – по названию древнего города на месте современного Парижа, второй – кассиопеем (по имени созвездия – Кассиопея). В литературе приняты оба обозначения.

У нас принято название лютеций. Лютеций имеет радиоактивный изотоп.

*Магний* – Magnesium (Mg). Атомный номер 12; атомный вес 24,32. Открыт Г. Дэви в 1808 г. посредством электролиза. Назван по минералу «магнезия альба». (Магнезия – местность в Греции, «альба» – «белый».) Щелочноземельный металл. Широко распространен в природе: составляет 2,5 % веса земной коры; входит в состав горных пород – карбонатов, силикатов, сульфатов, галогенидов и пр. Растворенные соли магния находятся в большом количестве в морской воде. Легкий (уд. в. 1,74, температура плавления 651 °С, температура кипения 1107 °С) и ковкий, химически очень активен, однако в сплавах устойчив. В последнее время имеет значительные применения в авиационной промышленности в виде легких магниево-алюминиевых сплавов (магналий и пр.).

*Мазурий*. В 1924 г. было сообщено об открытии этого элемента с атомным номером 43. Факт этого открытия в настоящее время не признается. См. *технеций*.

*Марганец* – Manganum (Mn). Атомный номер 25; атомный вес 54,94. Известен с глубокой древности. Открыт в 1774 г. шведским химиком Ю. Шееле в минерале пиролюзите (природная двуокись марганца, называвшаяся иногда «магнезия нигра» – «черная магнезия», откуда и название элемента). Выделен в 1774 г. шведским химиком Ю. Ганом. Уд. в. 7,4, температура плавления 1250 °С, температура кипения 2150 °С. Металл серебристо-белый, твердый. Довольно распространен в природе, образует скопления черного пиролюзита в осадках моря. Употребляется в металлургии для улучшения качества стали, в красочной промышленности, в химических производствах. Перманганат (соль его) применяется в медицине.

*Медь* – Cuprum (Cu). Атомный номер 29; атомный вес 63,54. Известна с глубокой древности. Названа по острову Кипр, где в древности существовало широкое производство медных предметов. В природе встречается главным образом в соединении с серой, с кислородом, реже – в самородном виде. Красный ковкий металл. Уд. в. 8,9, температура

плавления 1083 °С, температура кипения 2595 °С. Употребляется в чистом виде в электротехнике, отличается высокой электропроводностью и теплопроводностью. В сплавах с оловом и цинком (бронза, латунь) также имеет широкое применение.

*Менделевий* – Mendeleevium (Md) был описан в 1955 г. Атомный номер 101, атомный вес 253. Получен при бомбардировке америция ядрами углерода, или  $\alpha$ -частицами эйнштейния.

*Молибден* – Molybdaenium (Mo). Атомный номер 42, атомный вес 95,95. Открыт шведским химиком П. Гьельмом в 1781–1792 гг. Однако в чистом виде молибден получен лишь в 1895 г. французским химиком Муассаном. Название происходит от греческого слова «молибдос», что значит «свинец», ввиду сходства последнего с минералом молибденитом. В природе встречается главным образом в виде молибденового блеска или молибденита ( $\text{MoS}_2$ ) – минерала, по внешнему виду похожего на графит. Молибден – серовато-белый металл, твердый, ковкий при высокой температуре, высокоплавкий. Уд. в. 10,3, плавится при 2625 °С, кипит при 4800 °С. Металлический молибден употребляется в виде сплавов со сталью, с которой дает продукт высокой твердости и прочности. Сплав с вольфрамом заменяет платину. Молибден употребляется также в качестве антикатада в рентгеновских трубках и для крючочков, поддерживающих накаленный вольфрамовый волосок в электрических лампочках. Соединяясь с углеродом, дает карбид  $\text{Mo}_2\text{C}$  – продукт высокой твердости.

*Мышьяк* – Arsenicum (As). Атомный номер 33; атомный вес 74,91. Название «мышьяк» значит «мышинный яд»; латинское название происходит от «арсеникон» – «минеральный краситель». Известен с глубокой древности. Встречается в природе главным образом в соединениях с серой. Хрупкий буровато-черный неметалл с чесночным запахом, летучий. Имеет несколько аллотропических видоизменений. Уд. в. 5,73, возгоняется, не плавясь, при 610 °С, под давлением в 36 атмосфер плавится при температуре 814 °С. Как сам мышьяк, так и его соединения очень ядовиты. Применяется в сплавах со свинцом и медью; делает золото очень хрупким; входит в состав веществ для борьбы с вредителями сельскохозяйственных продуктов, соединения его применяются в медицине; в стеклоделии им пользуются для обесцвечивания стекол.

*Натрий* – Natrium (Na). Атомный номер 11; атомный вес 22,991. Получен Дэви в 1807 г. посредством электролиза едкого натрия; в Петербурге с большим успехом опыты Г. Дэви повторил русский химик С. П. Власов. Назван от арабского слова «натрон» – «сода», «щелочь». Натрий – серебристо-белый металл, мягкий, как воск, окисляется на воздухе (поэтому хранится в керосине), легче воды (уд. в. 0,97). Температура плавления 97,7 °С, температура кипения 890 °С. Широко распространен в природе в виде силикатов, галогенидов, карбоната, сульфата и других солей. Сам натрий и его соли широко применяются в пищевой и

химической промышленности, в медицине (поваренная соль, сода, глауберова соль, бура и др.). Пары металла окрашены в пурпурно-красный цвет. Соединения окрашивают пламя в желтый цвет.

*Неодим* – Neodymium (Nd). Из группы редкоземельных элементов. Атомный номер 60, атомный вес 144,27. Открыт был австрийским химиком К. Ауэром фон Вельсбахом в 1885 г. в результате деления дидима на два элемента: неодим («новый близнец») и празеодим («зеленый близнец»). Цвет солей неодима розово-красный. Уд. в. 7,0, температура плавления 840 °С.

*Неон* – Neon (Ne). Атомный номер 10; атомный вес 20,183. Благородный газ; открыт английским ученым У. Рамзаем и М. Траверсом в 1898 г., одновременно с криптоном и ксеноном. Назван от греческого «неос» – «новый». Встречается в ничтожном количестве в воздухе. Употребляется для наполнения газосветных ламп (неоновые лампы), которые светятся красным светом. Температура сжижения (кипения) –245,9 °С, затвердевания (плавления) –248,6 °С.

*Нептуний* – Neptunium (Np). Атомный номер 93; атомный вес 237. Первый из заурановых элементов. Получен в 1940 г. искусственным путем при бомбардировке урана нейтронами. Радиоактивен. В настоящее время известно несколько изотопов; наиболее долгоживущим является изотоп с атомным весом – 237, период его полураспада – 2,2 миллиона лет. По своим химическим свойствам близок к урану. Назван по имени планеты Нептун. Обнаружен в ничтожных количествах и в природных условиях.

*Никель* – Niccolum (Ni). Атомный номер 28; атомный вес 58,69. Название произошло от минерала купферникель зеленого цвета. Все попытки выделить из последнего медь не увенчались успехом. Поэтому этот минерал вестфальские металлурги, работавшие над ним, назвали именем «злого духа» – «никель». Позднее, в 1751–1754 гг. А. Кронштедт признал в минерале новый металл. Никель – серебристо-белый, довольно твердый металл, с температурой плавления 1453 °С и кипения – 2730 °С, уд. в. 8,9. Встречается в природе или в соединении с серой, или в виде силикатных руд. Широко применяется для никелирования, для изготовления специальных сталей и как катализатор при процессах гидрогенизации и пр.

*Ниобий* – Niobium (Nb). Атомный номер 41; атомный вес 92,91. Открыт английским химиком Ч. Гатчетом в 1801 г. и назван им колумбием (Cb). В 1844 г. немецкий химик Г. Розе разделил колумбии на два элемента: ниобий и тантал. В Америке и Англии сохранилось название «колумбий», в европейских странах принято – «ниобий». Назван по имени нимфы Ниобеи, дочери мифологического бога Тантала. В чистом виде он был получен в 1907 г. Уд. в. 8,6, плавится при 2415 °С, кипит при 3700 °С. Ниобий – металл серовато-белого цвета, тверд, ковкий и отличается чрезвычайной устойчивостью по отношению к различным химическим и

механическим воздействиям. В природе встречается в тесной связи с танталом и титаном. От тантала его отделить нацело очень трудно. Применяется в специальных сплавах и сталях для изготовления ответственных сварных конструкций, так как прибавление ниобия резко повышает устойчивость сварных швов. Идет на изготовление сверхтвердых сплавов, применяемых для хирургических инструментов и для других целей. Серьезный интерес представляет возможность использования ниобия в электровакуумной технике.

*Нобелий* – Nobelium (No). Атомный номер 102; атомный вес точно не установлен, но, по-видимому, равен 253. В июле 1957 г. опубликовано сообщение ученых Швеции, Англии и США о том, что в циклотроне Нобелевского института в Стокгольме кюрией 244, нанесенный на цинковую фольгу, был облучен ядрами углерода (изотопа с ат. в. 13). Абсорбция частиц привела к образованию элемента с атомным номером 102. Последний был обнаружен радиохимическими методами. Период полураспада около 10 минут, испускает  $\alpha$ -лучи. Элемент был назван «нобелей» в честь Нобеля.

*Олово* – Stannum (Sn). Атомный номер 50; атомный вес 118,70. Один из первых металлов, известных человечеству с глубокой древности (бронзовый век). В свободном состоянии серебристо-белый металл, весьма ковкий и тягучий; удельный вес 7,3; плавится при 232 °С, кипит при 2360 °С. При температуре ниже 13 °С олово переходит в серую разновидность, называемую «оловянной чумой»<sup>[89]</sup>. При низких температурах переход в эту модификацию происходит особенно быстро. При сгибании палочек олова слышится характерный треск, вероятно, вследствие трения отдельных кристаллов друг о друга. Под действием воды и воздуха олово не меняется; благодаря этому свойству широко применяется для покрытия железа (так называемая жечь, расходуемая главным образом для консервных банок). Большое значение имеют сплавы со свинцом и медью: баббиты, бронза и др. Встречается в природе главным образом в виде минерала касситерита ( $\text{SnO}_2$ ) – оловянный камень. Олово имеет большое число изотопов, было обнаружено 10 изотопов.

*Осмий* – Osmium (Os). Атомный номер 76; атомный вес 190,2. Относится к группе платиновых металлов. Открыт в 1804 г. С. Теннантом и назван от греческого «осме» – «пахнущий», так как парам осмиевого ангидрида присущ сильный неприятный запах и они очень ядовиты. Малоактивный элемент, весьма устойчив в химическом отношении. Уд. в. 22,6 – наибольший из весов всех элементов на земле. Температура плавления 2700 °С, кипения – 5500 °С. Встречается в природе в самородном состоянии вместе с платиной. Сплав осмия с иридием отличается исключительной твердостью, используется для наконечников «вечных перьев».

*Палладий* – Palladium (Pd). Атомный номер 46; атомный вес 106,7. Элемент из платиновой группы. Открыт в 1804 г. английским врачом В.

Волластоном и назван в честь малой планеты (астероида) Паллады. Уд. в. 11,9, температура плавления 1552 °С, температура кипения 4000 °С. Наиболее ковкий и мягкий из всех элементов платиновой группы. Замечателен своей способностью поглощать огромное количество водорода (до 700 объемов на 1 объем металла) и сохранять при этом металлический вид, увеличиваясь в объеме. Благодаря красивому внешнему виду применяется в ювелирном деле.

*Платина* – Platinum (Pt). Главнейший из элементов платиновой группы. Атомный номер 78; атомный вес 195,23. Первые указания на существование платиновых металлов относятся к середине XVIII в. Во второй половине XVIII в. были проведены исследования по химии платиновых металлов. Название произошло от испанского: «платина» – уменьшительное от слова «plata» – «серебро». Уд. в. 21,45, температура плавления 17,69 °С, кипения – 4400 °С. Блестящий ковкий металл, не изменяющийся на воздухе даже при самом сильном накаливании. Благодаря тугоплавкости и устойчивости против химических воздействий находит широкое применение в научных и технических лабораториях. В природе встречается в самородном виде в смеси с другими платиновыми металлами. Наибольшее количество платины добывается из россыпей. Разделение платиновых металлов долго представляло большие трудности. Методы разделения и аффинажа их разработаны Институтом общей и неорганической химии Академии наук СССР.

*Плутоний* – Plutonium (Pu). Атомный номер 94; атомный вес 242. Впервые получен в 1941 г. искусственным путем при бомбардировке урана нейтронами. По своим химическим свойствам плутоний близок к урану. Назван по имени планеты Плутон. Он обнаружен в виде ничтожной примеси в природных урановых рудах (примерно 1 атом плутония на 140 миллиардов атомов урана). Плутоний радиоактивен. В настоящее время известно несколько его изотопов. Наиболее долго живущим изотопом является изотоп с атомным весом 242; период полураспада его равен 500 тысячам лет. Изотоп 239 является основным продуктом для получения атомной энергии. Когда в 1943 г. было установлено его свойство легко переходить в изотоп урана с атомным весом 235, из которого были созданы первые атомные бомбы, начали усиленно работать над накоплением плутония. Вначале его было миллионные доли грамма, но уже через два года были накоплены килограммы плутония, и в 1945 г. он был использован для атомных бомб, сброшенных в Хиросиме и затем в Нагасаки.

*Полоний* – Polonium (Po). Атомный номер 84; атомный вес 210,0. Радиоактивный элемент. Открыт Марией Кюри-Склодовской в 1898 г. совместно с П. Кюри и назван в честь родины М. Кюри – Польши – полонием. Уд. в. 9,4, температура плавления 246 °С. По химическим свойствам очень близок к теллуру и является членом уранового ряда радиоактивных элементов. Период полураспада полония – 137,6 дня.

*Празеодим* – Praseodymium (Pr). Из группы редкоземельных элементов. Атомный номер 59; атомный вес 140,92. Открыт в 1885 г. К. Ауэром фон Вельсбахом вместе с неодимом из соли дидима. Название получил от греческих слов «празеос» (бледно-зеленый, по цвету некоторых солей) и «дидюмос» (близнец). Соли его зеленого цвета.

*Прометий* – Promethium (Pm). Открыт в 1947 г. В природе не обнаружен, получается искусственным путем. Атомный номер 61; атомный вес 145. Расположен в Периодической системе Менделеева в группе редкоземельных элементов. Химически выделен из осколков деления урана в виде многих изотопов и сравнительно долго живущего изотопа с атомным весом 147. Период полураспада этого изотопа равен приблизительно 4 годам. Получен также при ядерных реакциях из самария, неодима и празеодима. Назван в честь мифологического бога Прометея. Все изотопы радиоактивны.

*Протактиний* – Protactinium (Pa). Атомный номер 91; атомный вес 231. Радиоактивный элемент. Открыт в 1917 г. немецкими учеными О. Ганом и Л. Мейтнер и одновременно английскими учеными Ф. Содди и Дж. Кранстоном. В 1927 г. немецкий ученый А. Гроссе выделил свободный протактиний в количестве сотых долей грамма. Представляет собой серебристо-белый металл. Название получил от греческих слов «протос» и «актинос» – «первый луч». Встречается в природе вместе с ураном, являясь одним из продуктов его распада. Продолжительность периода полураспада протактиния – 3200 лет.

*Радий* – Radium (Ra). Атомный номер 88; атомный вес 226,05. Радиоактивный элемент уранового ряда, открытый в 1898 г. супругами Кюри в урановой смоляной руде. Название получил от слова «радиус» – «луч». Уд. в. 5,0, температура плавления 960 °С, температура кипения 1140 °С. Радий – металл серебристого цвета, разлагающий при обыкновенной температуре воду. По химическим свойствам он очень близок к барию, поэтому соли радия очень трудно было отделить от солей бария. Наиболее замечательное свойство радия – сильная радиоактивность, в несколько миллионов раз превышающая радиоактивность урана. Радий испускает  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучи. Соли радия светятся в темноте; испускаемые им лучи обладают способностью, кроме воздействия на фотопластинку, ионизировать воздух, вызывать многие химические реакции, разрушающе действовать на животные организмы, убивать бактерии. Особенно поразительной является способность радия непрерывно выделять большое количество энергии. Продолжительность периода полураспада радия – 1580 лет. Применяется в медицине для лечения злокачественных опухолей, рака и волчанки.

*Радиоактивные элементы.* Радиоактивными называются такие химические элементы, которые обладают свойством непрерывно и самопроизвольно превращаться в другие вещества, испускать невидимые лучи, проникающие подобно рентгеновским лучам сквозь

различные вещества, вызывающие электропроводимость воздуха, почернение фотографической пластинки, свечение многих веществ и пр. Лучи, испускаемые радиоактивными элементами, состоят из  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучей. Свойствами радиоактивности обладают также изотопы калия, рубидия, индия, лантана, самария, лютеция, рения, урана, тория, полония, радия, протактиния, а также технеций, прометий, астатин, франций и все заурановые элементы.

*Радон* – Radon (Rn). Атомный номер 86; атомный вес 222,0. Самый тяжелый благородный газ, является продуктом радиоактивного превращения радия. Недолговечен: период полураспада равен 3,85 дня; превращается в твердое вещество радий А с выделением гелия. Название произошло от одного корня со словом «радий». Радон называется также эманацией радия и нитоном. Сжижается при 62 °С, затвердевает при 71 °С. Довольно хорошо растворяется в воде. Радоновые ванны применяются в медицине.

*Редкие земли* – Terra Rarae (TR). В 57-й клетке менделеевской таблицы помещены не один, как в других клетках, а 15 элементов: лантан и 14 редкоземельных элементов, очень родственных друг другу. Их атомные номера от 57 до 71. Эти элементы объединяют под общим наименованием редкие земли, или редкоземельные элементы, или, наконец, семейство лантаноидов (лантанидов). К редкоземельным элементам относятся: церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций. Различают две группы редкоземельных элементов – иттровую и церовую по нахождению в соответственных «землях». По своим свойствам все редкоземельные элементы чрезвычайно похожи друг на друга. В свободном состоянии это металлы с высокими точками плавления, они разлагают воду при обыкновенной температуре. В природе всегда встречаются смешанными друг с другом во многих минералах. Разделение их представляет большие трудности. Главнейшим содержащим редкоземельные элементы минералом является монацит. История открытия отдельных представителей редкоземельных элементов довольно сложна. Впервые существование «новой земли» было установлено в 1794 г. финским химиком Гадолином; последним из редких земель был открыт лютеций, а недавно искусственно получен № 61 – прометий. Дополнительные данные об отдельных элементах группы редких земель см. под их названиями. В настоящее время редкоземельные элементы приобрели большое значение в различных отраслях промышленности.

*Рений* – Rhenium (Re). Атомный номер 75; атомный вес 186,31. Один из наиболее рассеянных элементов, открытый лишь в 1925 г. немецкими учеными И. и В. Ноддак. Название получил от реки Рейн. Его свойства были предсказаны Д. И. Менделеевым, и он назвал его двимарганец. По внешнему виду металлический рений напоминает платину. Рений – один из самых тяжелых и тугоплавких металлов, уд. в. 20,9, плавится при

3170 °С, кипит при 5870 °С. Металл представляет особый интерес для электротехнической промышленности, так как является материалом для изготовления нитей электроламп более долговечных, чем вольфрамовые. Применяется и в виде сплавов в различных областях промышленности. В природе встречается в минерале молибдените в количестве, не превышающем стотысячной доли процента<sup>[90]</sup>.

*Родий* – Rhodium (Rh). Атомный номер 45; атомный вес 102,91. Элемент платиновой группы. Уд. в. 12,44, температура плавления 1960 °С, температура кипения 4500 °С. Открыт в 1803 г. В. Волластоном и назван от греческого слова «родон» – «розовый», так как соли родия имеют розовую окраску. В природе встречается в самородном состоянии вместе с платиновыми элементами. Из сплава платины с родием изготавливают приборы для измерения высоких температур (термопары).

*Ртуть* – Hydrargyrum (Hg). Атомный номер 80; атомный вес 200,61. Единственный металл, при обыкновенных условиях находящийся в жидком состоянии. Ртуть известна с глубокой древности. Название элемента произошло от греческих слов «хюдар аргирос» – «жидкое серебро». Застывает при температуре –38,87 °С; кипит при 356,9 °С. Уд. в. 13,55. Растворяет многие металлы (щелочные металлы, золото, серебро, медь, олово), давая жидкие и твердые сплавы, называемые амальгамами. Пары ртути очень ядовиты. Применяется для наполнения различных физических приборов (например, термометров, кварцевых ламп, насосов), в медицине, для извлечения из руд золота и для приготовления гремучей ртути – одного из важнейших детонаторов. В природе встречается в виде минерала киновари (HgS).

*Рубидий* – Rubidium (Rb). Атомный номер 37; атомный вес 85,48. Элемент из группы щелочных металлов. Открыт Бунзеном в 1861 г. спектральным анализом. Назван по характерным для рубидия красным линиям спектра («рубидус» – «темно-красный»). По своим свойствам очень близок к калию, только активность его значительно больше последнего. Уд. в. 1,53, температура плавления 38,5 °С; температура кипения 680 °С. Встречается в природе в крайне рассеянном состоянии; наибольшие его количества (до 0,1 %) обнаружены в амазонском камне (зеленый полевой шпат); в заметных количествах установлен в минерале карналлите. Изотоп рубидия с атомным весом 87 радиоактивен, испускает только β-лучи, превращаясь в стронций. Период его полураспада – 70 миллиардов лет.

*Рутений*– Ruthenium (Ru). Атомный номер 44; атомный вес 101,1. Элемент платиновой группы. Открыт в 1844 г. русским академиком К. К. Клаусом в Казани и назван в честь России (Ruthenia по-латыни – Россия). Хрупкий. Уд. в. 12,2, температура плавления 2450 °С, температура кипения 4900 °С. В природе встречается вместе с другими элементами платиновой группы. Крайне редок и поэтому не нашел применения.

*Самарий* – Samarium (Sm). Атомный номер 62; атомный вес 150,43. Из группы редкоземельных элементов. Выделен Лекок де Буабодраном в 1879 г. и назван по имени горного инженера Самарского, открывшего минерал самарскит в Ильменских горах. Цвет пламени вольтовой дуги окрашивается солями самария в розово-красный цвет. Изотоп самария радиоактивен, испускает только  $\alpha$ -лучи, превращаясь в неодим.

*Свинец* – Plumbum (Pb). Атомный номер 82, атомный вес 207,21. Известен с глубокой древности. Свинец – мягкий голубовато-серый тяжелый металл. Уд. в. 11,34, температура плавления 327 °С, температура кипения 1740 °С. Имеет много применений. Главное его применение – изготовление покрышек для кабелей и пластин для аккумуляторов; большое количество идет на изготовление пуль, дроби. Свинец входит в состав многих сплавов: баббитов, типографского сплава и др. Соединения свинца употребляются как белый краситель и в медицине. В природе встречается главным образом в виде свинцового блеска, или галенита, – PbS, из которого и добывается.

*Селен* – Selenium (Se). Атомный номер 34; атомный вес 78.96, Открыт И. Я. Берцелиусом в 1817 г.; название получил от греческого слова «селене» – «луна». Особая модификация селена при освещении проводит электрический ток, причем сопротивление ее меняется от освещенности. На этом основано главное применение селена как фотоэлемента. По своим химическим свойствам близок к сере и особенно к теллуру. Уд. в. 4,81, температура плавления 220 °С, температура кипения 680 °С.

В природе встречается в рассеянном состоянии в сульфидных рудах как спутник серы. Кроме фотоэлементов, селен употребляется в электротехнике, в резиновой и стекольной промышленности, а также в телевидении. Применение его, однако, ограничено.

*Сера* – Sulphur (S). Атомный номер 16; атомный вес 32,066. Известна с глубокой древности. Имеет много видоизменений: ромбическая, моноклинная, пластическая, аморфная и др. Кристаллы серы светло-желтого цвета. Уд. в. 2,1, температура плавления 119 °С, температура кипения 444,5 °С. В природе сера очень распространена как в самородном виде, так и в виде сернистых руд и сульфатов (гипс, ангидрит и др.). Применяется для получения серной кислоты, при борьбе с вредителями сельского хозяйства (филоксерой), в резиновой промышленности. Входит в состав охотничьего пороха, спичек, бенгальских огней, ультрамарина (синяя краска); применяется также в медицине.

*Серебро* – Argentum (Ag). Атомный номер 47; атомный вес 107,88. благородный металл. Известно со времен глубокой древности. Чистое серебро белого цвета, очень мягко и тягуче. Уд. в. 10,49, температура плавления 960,8 °С, температура кипения 2210 °С; близко по своим свойствам к золоту и меди; на воздухе не окисляется, но темнеет от

действия сернистых соединений в воздухе, обладает большой ковкостью и бактерицидными свойствами. Лучше всех металлов проводит тепло и электрический ток. В природе встречается в виде самородного серебра и в виде соединений с серой и хлором. Сплавы серебра служат для изготовления домашней утвари, ювелирных изделий, серебряных монет. Название произошло от санскритского слова «аргенос» – «ясный».

*Скандий* – Scandium (Sc). Атомный номер 21; атомный вес 44,96. Один из самых рассеянных в природе элементов. Его существование было предсказано Д. И. Менделеевым в 1871 г. (экабор). Открыт был Нильсоном в 1879 г. путем спектрального анализа. Свойства скандия изучены мало. По химическим свойствам он близок к щелочноземельным элементам. Название свое получил от Скандинавского полуострова.

*Стронций* – Strontium (Sr). Атомный номер 38; атомный вес 87,63. Принадлежит к щелочноземельным металлам. Металлический стронций – серебристо-белый металл, уд. в. 2,6, температура плавления 770 °С, температура кипения 1370 °С; химически очень активен, поэтому в природе встречается только в соединениях. Соединения его окрашивают пламя в красный цвет. Встречается в природе в виде карбоната, сульфата и примесей. Применяется в пиротехнике, в сахарной промышленности. Изотоп стронция с атомным весом 90, очень вредный для здоровья, получается в большом количестве при взрыве атомных бомб.

*Сурьма* – Stibium (Sb). Атомный номер 51; атомный вес 121,76. Известна была еще с древности, в свободном состоянии получена в XV в. Василием Валентином. Название происходит от турецкого слова «сурьме» – «натираие». Сурьма имеет разные аллотропические видоизменения. Одна из них металлическая, очень хрупкий металл серебристого вида. Уд. в. 6,62, температура плавления 630,5 °С, температура кипения 1635 °С. В природе встречается в виде соединений с серой. Применяется как составная часть во многих сплавах, которым придает твердость; прибавка сурьмы к свинцу сильно повышает его твердость, что используется при изготовлении типографского сплава, пуля. Соединения сурьмы используются в спичечной, резиновой, стекольной промышленности. Соединения ядовиты.

*Таллий* – Thallium (Tl). Атомный номер 81; атомный вес 204,39. Открыт в 1861 г. В. Круксом спектральным анализом. Название получил от греческого слова «таллос» – «зеленая ветвь» – по зеленому цвету линий спектра. Таллий – металл несколько тяжелее свинца, очень летуч, плавится при 303 °С, кипит при 1457 °С, уд. в. 11,85. Соединения его окрашивают пламя в зеленый цвет, очень ядовиты. В природе встречается в рассеянном состоянии. Основным сырьем служит пыль, получаемая при обжиге сернистых руд некоторых металлов. Употребляется как составная часть кислотоупорных сплавов, в

животноводстве для съема волос со шкур, для изготовления оптических стекол, в фотоэлементах и имеет сейчас еще много других применений.

*Тантал* – Tantalum (Ta). Редкий элемент. Атомный номер 73; атомный вес 180,95. Открыт был в 1800 г. А. Экебергом и назван в честь греческого мифического царя Тантала. Уд. в. 16,6, температура плавления 3000 °С, температура кипения 5300 °С. Тантал хорошо поддается механической обработке и отличается своей чрезвычайной устойчивостью по отношению к различным химическим и механическим воздействиям. Это свойство используется для изготовления различной ответственной химической, радиотехнической и рентгеновской аппаратуры и хирургических инструментов. Сплавы тантала с углеродом отличаются исключительной твердостью, что делает его весьма ценным для изготовления резцов, сверл. В природе встречается редко, всегда вместе с ниобием, от которого его отделить нацело очень трудно (и часто с титаном). Тонкие нити и пластинки тантала получили применение в хирургии для сшивания тканей и сосудов.

*Теллур* – Tellurium (Te). Атомный номер 52; атомный вес 127,61. Открыт в 1782 г. венгерским химиком Ф. Мюллером, немецкий химик М. Клапрот в 1798 г. подтвердил это открытие и дал новому элементу его название от латинского «теллурис» – «земля». Уд. в. 6,24, плавится при 450 °С, кипит при 1390 °С. Теллур по химическим свойствам похож на серу и особенно на селен. Известен давно минерал «парадоксальное золото». Соединения теллура крайне ядовиты. Встречается в соединениях с серебром, золотом, висмутом и серой. Применяется в керамической промышленности, для окраски стекол и в качестве добавки к газолину для ускорения сгорания в двигателях, употребляется в производстве свинцовых кабелей.

*Тербий* – Terbium (Tb). Атомный номер 65; атомный вес 158,93. Из группы редкоземельных элементов. Открыт в 1843 г. шведским химиком К. Мозандером в иттриевой земле, наряду с иттрием, иттербием и эрбием и другими редкоземельными элементами.

*Технеций* – Technetium (Tc). Атомный номер 43; атомный вес 99. Технеций является первым химическим элементом, полученным искусственным путем. Он синтезирован итальянскими учеными М. Перрье и Сегре в 1937 г. путем бомбардировки молибдена нейтронами и при других ядерных реакциях. Уд. в. 11,5.

В настоящее время известно много его изотопов. Наиболее долгоживущим из них является изотоп с атомным весом 99. По химическим свойствам технеций ближе к рению, чем марганцу. Название произошло от греческого слова «технетос» – «искусственный». Свойства технеция в точности совпадают с теми, которые предсказал Д. И. Менделеев, назвав этот элемент эка-марганцем (см. *мазурий*).

*Титан* – Titanium (Ti). Атомный номер 22; атомный вес 47,90. Очень распространенный в природе элемент: составляет 0,6 % веса земной

коры. Открыт в 1795 г. немецким химиком М. Клапротом и назван в честь мифологического героя. Скопления титана встречаются в минералах ильмените и рутиле, а также в титаномагнетитах. Металл серебристо-белого цвета, очень тверд и хрупок; уд. в. 4,54, плавится при 1725 °С, кипит при 3260 °С. Практическое значение титана особенно велико в металлургии: он способствует полному удалению из расплавленной стали кислорода и азота, благодаря чему литье получается замечательно однородным; придает стали твердость и эластичность. Металлический титан стоек при резком колебании температуры, и перед ним открываются широкие перспективы для использования в современной технике. Двоокись титана служит для изготовления очень хорошего белого красителя (титановые белила).

*Торий* – Thorium (Th). Атомный номер 90; атомный вес 232,05. Один из важнейших радиоактивных элементов. Открыт в 1828 г. Берцелиусом и назван по имени Тора – скандинавского бога войны. Радиоактивность тория установлена в 1898 г. Склодовской-Кюри и Шмидтом. В свободном состоянии это металл; уд. в. 11,5, плавится при 1800 °С, кипит при 5200 °С, внешне похож на платину. Период полураспада тория – 13 миллиардов лет. Распадаясь, торий образует ториевый ряд радиоактивных элементов, конечным членом которого является свинец с атомным весом 208. Главнейшие минералы, в состав которых входит торий, – монацит с большим содержанием редкоземельных элементов, торит. Добывается монацит из монацитовых песков. Значение имеет двоокись тория для газокалильных сеток. Наряду с ураном торий расщепляется с выделением большого количества внутриатомной энергии, с чем связано его практическое значение. Титанат тория показал очень большую диэлектрическую постоянную и употребляется в радиотехнике.

*Трансурановые элементы, см. заурановые элементы.*

*Тулий* – Thulium (Tl). Атомный номер 69; атомный вес 168,94. Элемент из группы редкоземельных. Открыт в 1880 г. П. Клеве и назван от слова «Тулия» – древнего названия Скандинавии. Соединения тулия – зеленого цвета.

*Углерод* – Carboneum (C). Атомный номер 6; атомный вес 12,011. Известен с глубокой древности; название от латинского «карбо» – «уголь». Встречается в природе в виде алмаза, уд. в. 3,51, графита, уд. в. 2,25, ископаемых углей, различных углеводородов (нефти, природных газов) и в органических веществах, затем в виде карбонатов (солей угольной кислоты), ископаемых и в растворах их в воде, в виде углекислого газа в воздухе. Применяется: алмаз – для бурения, резки и шлифовки стекла, для украшений; графит – как огнеупор (графитовые тигли), как смазка, для изготовления карандашей, в реостатах, в электродах для дуговых электрических печей; уголь и нефть – в качестве топлива как важнейший источник энергии. Сажа идет на краску (черная тушь). При переработке угля получают многочисленные важные

химические продукты, в том числе анилиновые производные; сырье для лекарственных продуктов – аспирин, стрептоцид; сахарин; для взрывчатых веществ – тринитротолуол (тол) и пр. Изотоп с атомным весом 14 радиоактивен и входит в незначительном количестве в живые организмы.

**Уран** – Uranium (U). Атомный номер 92; атомный вес 238,07. Элемент, еще недавно занимавший самое последнее место в Периодической системе элементов. Уран был открыт в 1789 г. М. Клапротом в смоляной руде, но только в 1841 г. Е. Пелиго получил уран в чистом виде. Входит в состав минералов уранита, карнатита, тьюмунита. Уран – тугоплавкий металл серебристо-белого цвета; уд. в. 18,3, температура плавления 1133 °С, температура кипения 3500 °С; радиоактивен. При изучении урана Беккерель в 1898 г. открыл явление радиоактивности. Природный уран имеет несколько изотопов; преобладает изотоп с атомным весом 238; изотоп с атомным весом 235 содержится в количестве 0,8 %. Благодаря радиоактивному распаду из урана с атомным весом 238 образуются элементы уранового ряда, а из урана с атомным весом 235 образуется актиниевый ряд. Конечным продуктом уранового ряда является свинец с атомным весом 206, актиниевого ряда – свинец с атомным весом 207. Уран 235 был использован для создания атомных бомб; при бомбардировке его ядра медленными нейтронами легко распадается на два почти равных осколка, состоящих из многих радиоактивных изотопов разных элементов. При этом выделяется огромное количество энергии. Назван элемент по имени планеты Уран, обнаруженной незадолго до открытия металла.

**Фермий** – Fermium (Fm). Атомный номер 100, атомный вес 255 (?). Опубликованные в 1951 г. сведения об открытии этого элемента, названного центурием от слова «centum» («сто»), сначала не подтвердились. Однако в 1953 г. было сообщено в печати о выделении из продукта облучения урана нейтронами нового элемента с атомным номером 100. Позднее, в 1955 г. были получены его изотопы при бомбардировке урана шестизарядными ядрами кислорода. Этот элемент был назван в честь знаменитого итальянского ученого Ферми фермием с символом Fm. До 1956 г. были синтезированы четыре изотопа фермия.

**Фосфор** – Phosphorus (P). Атомный номер 15; атомный вес 30,975. Свое название фосфор получил благодаря свойству светиться в темноте (от греческих слов «фос» – «свет» и «форос» – «несущий»). Открыт немецким химиком Г. Брандом в 1669 г. Уд. в. 1,82, температура плавления 44 °С, температура кипения 280,5 °С. Известны разновидности: желтый (белый) фосфор, красный фосфор, а в 1916 г. Бриджмен получил черный фосфор. Широко распространен в земной коре в виде фосфатов, образует многочисленные минералы: апатит, бирюзу, фосфаты железа, меди и др. Используется при производстве спичек, получении дымовых завес, зажигающих веществ и т. п. Фосфориты и апатит – важнейшее сырье для производства

фосфоросодержащих удобрений. Фосфор и многие его соединения являются сильными ядами.

*Франций* – Francium (Fr). Атомный номер 87. Впервые был обнаружен француженкой М. Пере в 1939 г. в естественном радиоактивном ряду распада актиния, позднее получен искусственным путем. Непродолжительность существования изотопов франция существенно затрудняет изучение его химических свойств. Содержание его в земной коре крайне ничтожно. Атомный вес одного из изотопов 223. По своим свойствам он близок к цезию и является самым активным из всех металлов. Название получил в честь родины исследовательницы. Существование франция было предсказано Д. И. Менделеевым, который описал его под названием экацезий.

*Фтор* – Fluorum (F). Атомный номер 9; атомный вес 19,00. Неметалл из группы галогенов. В свободном состоянии впервые выделен французским химиком А. Муассаном в 1886 г., хотя был принят за элемент, входящий в состав плавиковой кислоты и полевого шпата, французским ученым А. Ампером еще в 1810 г. Латинское название произошло от названия минерала флюорита. Русское название происходит от греческого корня «фториос» – «разрушающий». При обычных условиях это – газ, в толстых слоях окрашенный в зеленовато-желтый цвет. Уд. в. 1,11 (жидкость), температура затвердевания  $-218\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура сжижения  $-188,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В свободном состоянии не нашел применения. Фтористоводородная, или плавиковая, кислота широко используется в химических лабораториях, для травления стекла, в нефтяной промышленности, при анализе минералов, при металлическом литье, для синтезов в органической химии.

*Хлор* – Chlorum (Cl). Атомный номер 17; атомный вес 35,457. Открыт Шееле в 1774 г.; название получил от слова «хлорос» – «зеленый». Хлор – желто-зеленый газ, тяжелее воздуха. Уд. в. 1,57 (жидкий), сжижается при  $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ , затвердевает при  $-101\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В природе встречается в виде солей соляной кислоты – натрия и калия, растворенных в водах океана, или в виде залежей каменной соли (NaCl), а также в виде других хлоридов. Является одним из основных элементов химической промышленности, играет очень важную роль при приготовлении красителей, многих лекарственных и отравляющих веществ. Большое количество хлора применяется для отбеливания тканей, бумаги, для стерилизации питьевой воды и в сельском хозяйстве в борьбе с полевыми вредителями. Натриевая соль хлора (NaCl) употребляется в громадных количествах в пищу (каждым человеком в год потребляется от 2 до 10 килограммов соли).

*Хром* – Chromium (Cr). Атомный номер 24; атомный вес 52,01. Открыт в 1797 г. одновременно Вокеленом и Клапротом из минерала крокоита, привезенного Далласом из одного рудника на Урале<sup>[91]</sup>. Название произошло от греческого «хрома» – «краска», благодаря многоцветной

окраске различных его соединений. Весьма хрупкий и твердый металл, очень устойчив по отношению к воздуху и воде; уд. в. 7,14, температура плавления 1800 °С, температура кипения 2200 °С. В природе встречается чаще всего в виде минерала хромистого железняка. Употребляется главным образом в сталелитейной промышленности. Хромовые (нержавеющие) стали обладают большой твердостью, прочностью и идут для изготовления инструментов, орудийных и ружейных стволов; хромом покрываются поверхности других металлов для предохранения их от разрушения. Входит в состав минеральных красителей.

*Цезий* – Cesium (Cs). Атомный номер 55; атомный вес 132,91. Из группы щелочных металлов, весьма активен. Уд. в. 1,9, температура плавления 28 °С, температура кипения 670 °С. Получил название по небесно-голубому цвету характерных для цезия спектральных линий («цезиум» – «голубое небо»). Цезий – первый из элементов, открытых путем спектрального анализа (Бунзен в 1860 г.). Соединения цезия окрашивают пламя в розово-фиолетовый цвет. В природе известен лишь один цезиевый минерал – поллуцит<sup>[92]</sup>. Цезий применяется как главная составная часть фотоэлемента.

*Центурий* – Centurium (Cn). Опубликованные в 1951 г. сведения о новом химическом элементе с атомным номером 100 не получили подтверждения. Название – «centurium» – «сотый». См. *фермий*.

*Церий* – Cerium (Ce). Атомный номер 58; атомный вес 140,13. Из группы редкоземельных элементов. Открыт в 1803 г. Гизингером, Клапротом и Берцелиусом и назван по имени малой планеты Цереры. Церий в природе встречается в минералах церите и др. вместе с другими редкоземельными металлами. Церий входит в смесь, употребляемую для изготовления «кремней» в зажигалках; двуокись церия, как и двуокись тория, применяются для сеток газо- и керосинокалильных ламп. Применяется церий в медицине, а также в артиллерии для получения светящегося следа при полетах снарядов. Церий извлекается из монацита как отход при получении тория.

*Цинк* – Zincum (Zn). Атомный номер 30; атомный вес 65,38. Цинк был известен с глубокой древности. В XVI в. упоминается Парацельсом. Название получил от слова «цинко» – «белый налет» (соли цинка имеют белый цвет). Сам металл – серовато-белый, довольно стойкий по отношению к воде и воздуху благодаря поверхностной защитной окисной пленке. Уд. в. 7,14, плавится при 419 °С, кипит при 907 °С. Встречается в природе главным образом в виде минерала сфалерита (ZnS) – цинковой обманки. Metallургия цинка разработана Генкелем, у которого обучался в 1721 г. Ломоносов. Применяется для покрытия железа (оцинкованное железо), а также в сплавах с медью (латунь). Соединения цинка белого цвета, употребляются в качестве красителей, а также в медицине.

*Цирконий* – Zirconium (Zr). Атомный номер 40; атомный вес 91,22. Открыт Клапротом в 1789 г. и назван по минералу циркону. Уд. в. 6,5, плавится при 1860 °С, кипит при 5050 °С. Двуокись циркония весьма тугоплавка, плавится при 3000 °С, и при этом чрезвычайно устойчива по отношению к химическим воздействиям. Благодаря этим свойствам употребляется как высокоогнеупорный материал и как химическая посуда вместо платины. Цирконий применяется в качестве добавки к чугуну, повышая качество металлического литья. В природе встречается в виде циркона и сложных силикатов. Очень долго не замечали в нем примеси гафния (см. *гафний*), который трудно отделим.

*Эйнштейний* (Es). Атомный номер 99; атомный вес 253. В 1951 г. было опубликовано сообщение об открытии нового элемента, полученного при бомбардировке нептуния ядрами углерода. Сообщение оказалось ошибочным. Элемент был назван афинием в честь города Афины, а затем переименован. В 1952 г. из продуктов облучения урана мощным потоком нейтронов был выделен элемент под номером 99. Другие его изотопы получены при длительном облучении и  $\beta$ -распаде плутония и при бомбардировке урана шестизарядными ионами изотопа азота  $^{14}\text{N}$ . Синтезировано 5 изотопов до 1956 г. В настоящее время его называют эйнштейнием в честь крупнейшего ученого Эйнштейна.

*Экаалюминий*, см. *галлий*.

*Экабор*, см. *скандий*.

*Экайод*, см. *астатин*.

*Экамарганец*, см. *технеций*.

*Экасилиций*, см. *германий*.

*Экацезий*, см. *франций*.

*Эрбий* – Erbium (Er). Атомный номер 68; атомный вес 167,2. Из группы редкоземельных элементов. Открыт Мозандером в 1843 г. и назван по имени города Иттерби.

## **Объяснения непонятных слов, встречающихся в тексте**

*Абразивы*, или *абразивные материалы*, – естественные минералы, горные породы, искусственные вещества высокой твердости, при дроблении дают зерна с острыми краями. Абразивы применяются для резания, распиловки, сверления, точения, шлифования, полировки и иных видов обработки металлов, камней, стекла и пр. Важнейшие природные абразивы: алмаз, корунд, гранат, кремень, кварц, песчаник, пемза; искусственные: синтетический корунд (электрокорунд, алундум); карборунд (сплавы кварца с углеродом); сталинит, воломит (сплавы вольфрама с углеродом), карбид бора и др.

*Авгит*, см. *пироксены*.

*Агат* – полосатый, слоистый халцедон, имеющий слои разной окраски (белой, красной, черной и др.). См. *халцедон*.

*Аквамарин* – прозрачная разновидность берилла, окрашенного в сине-зеленые тона (от латинских слов: «аква» – «вода», «маре» – «море»); ценится как драгоценный камень. См. *берилл*.

*Алаит* – очень редкий минерал красивого красного цвета; по составу водная пятиокись ванадия ( $V_2O_5 \times H_2O$ ). Найден в Средней Азии.

*Алмаз* – кристаллическая разновидность углерода. Самый твердый минерал из известных в природе. Бесцветный или слегка окрашенный, редко черный. Прекрасный драгоценный и технический камень. Образуется из расплавленных масс при высоких давлениях и температурах.

*Алундум* – глинозем ( $Al_2O_3$ ), получаемый искусственным путем из природных алюмосиликатов или бокситов. См. *абразивы*.

*Алунит*, или *квасцовый камень*, – белый или красно-коричневый минерал, природное сернокислородное соединение калия и алюминия.

*Алюмосиликаты* – силикаты, в которых существенную роль играет окись алюминия, т. е. глинозем.

*Аметист* – минерал фиолетового цвета. Разновидность кварца. См. *кварц*.

*Ампангабеит* – редкий радиоактивный минерал буро-красного цвета; ниобат и титанат урана, железа и др. Впервые был найден на острове Мадагаскаре.

*Амфибол*, или *роговая обманка*, – минерал темно-зеленого, зеленовато-черного или черно-бурого цвета со стеклянным блеском. Породообразующий минерал из класса силикатов. Встречается в сплошных пластинчатых и игольчатых массах.

*Антимонит*, или *сурьмяной блеск*, *стибнит*, – минерал свинцово-серого цвета с металлическим блеском, часто с пестрой побегалостью. Состав – сернистая сурьма  $Sb_2S_3$ . Встречается в игольчатых кристаллах и в плотных массах. Употребляется для получения сурьмы.

*Антрацит* – разновидность каменного угля, характеризующаяся наиболее значительным содержанием углерода: до 90–96 %.

*Апатит* – минерал, по составу фосфорнокислая соль кальция, содержащая фтор и хлор. Употребляется для получения фосфорных удобрений.

*Арагонит* – минерал, по химическому составу отвечающий кальциту ( $CaCO_3$ ), но отличающийся от него расположением атомов в кристаллической решетке и физическими свойствами. Цвет белый, серый, красноватый до черного. Для арагонита характерны плотные

образования в виде шаровидных оолитов, а также многие натечные формы – свисающие со сводов пещер сталактиты и поднимающиеся снизу им навстречу сталагмиты. Образуется обычно из горячих и холодных вод.

*Асбест* – групповое название ряда тонковолокнистых минералов – силикатов магния. Длина волокон достигает 5 см и более. Асбесты применяются для выработки несгораемых тканей, для тепло- и электроизоляционных прокладок, для огнестойких строительных материалов и др.

*Асфальт* – твердый битум буроватого или матово-черного цвета, часто просто затвердевшая окисленная нефть. При 70–110 °С размягчается, а затем плавится. Различают асфальты природные и искусственные.

*Атолл* – коралловый остров, имеющий форму сплошного или разорванного кольца, которое окружает лагуну. Атоллы встречаются среди открытого моря. Располагаются или в одиночку, или целыми архипелагами.

*Аурипигмент* – минерал золотисто-желтого цвета, обыкновенно встречается в листоватых и столбчатых массах. Сернистое соединение мышьяка.

*Ацетилен* – газ, получаемый при действии воды на карбид кальция. Горит ярким белым светом; широко применяется при кислородной разделительной резке, при газовой сварке цветных и черных металлов и при пайке.

*Базальт* – магматическая, излившаяся на поверхность земли горная порода черного или черно-зеленого цвета. Состоит из минералов, богатых магнием и железом. Образуется отдельностью, имеющую форму шестигранных столбов. Базальтовая постель. По мнению некоторых современных петрографов, базальты – исходная материнская магма, которая образует базальтовый слой, лежащий под твердой земной корой.

*Байкалит* – темная, тускло-зеленая разновидность известково-железистого силиката – диопсида с озера Байкал.

*Барит*, или *тяжелый шпат*, – непрозрачный тяжелый минерал,  $BaSO_4$ , сульфат бария.

Бесцветен или чаще окрашен в желтый, красный, синеватый и другие цвета. Имеет широкое применение при изготовлении белил, химических препаратов и пр.

*Беломорит* – лунный камень из пегматитовых жил Беломорья; разновидность полевого шпата – альбита<sup>[93]</sup>.

*Бенгальский огонь* – различного рода пиротехнические составы, горящие медленно и дающие при сжигании яркое белое или цветное пламя. Употребляется для иллюминаций и фейерверков. Цвет зависит

от применения того или иного химического элемента (например, стронций придает красную окраску и т. д.).

*Берилл* – основной минерал для получения металлического бериллия. Состоит из кремния, алюминия и бериллия (до 14 % его окиси). Бесцветен или окрашен в зеленоватые и желтоватые цвета. Встречается в виде прозрачных, хорошо окрашенных разновидностей: изумруд (ярко-зеленый), аквамарин (цвета морской воды), воробьевит (розоватый) и др. Чистый и хорошо окрашенный берилл – драгоценный камень; особенно ценится изумруд.

*Бериллиевая бронза* – смесь меди с бериллием (2–2½ % Be), отличается большой прочностью, упругостью, хорошей электропроводностью и теплопроводностью. Идет на изготовление пружин и пружинящих деталей ответственного назначения, а также шестерен, зубчатых колес, втулок и подшипников, работающих при больших скоростях, повышенных давлениях и температуре.

*Бетон* – искусственный каменный конгломератный материал, представляющий собой затвердевшую смесь вяжущего вещества (цемент), воды и естественных или искусственных каменных заполнителей (песок, мелкий шлак, гравий, щебень).

*Биотит*, см. *слюда*.

*Бирюза* – непрозрачный минерал красивого голубого и голубовато-зеленого цвета, с матовым блеском – фосфат меди и алюминия. Употребляется для украшений.

*Битум* – название смесей разных углеводородов, встречающихся в природе в виде газов (нефтяные газы), жидкостей (нефть, асфальт) и твердых веществ (озокерит). Битумы часто пропитывают различные горные породы: известняки, сланцы, песчаники; такие породы называются битуминозными.

*Блеклые руды* – название группы минералов, главными представителями которых являются *теннантит*, или медномышьяковистая блеклая руда, *тетраэдрит*, или медно-сурьмянистая блеклая руда. Блеклые руды вместе с другими минералами используются для выплавки меди.

*Боксит* – осадочная горная порода, состоящая из водных окислов алюминия, а также железа, вследствие чего часто окрашена в кирпично-красный или буровато-красный цвет; редко бывает белым. Служит сырьем для получения металлического алюминия.

*Борная кислота* –  $H_3BO_3$  – слабая кислота. Встречается в природе в виде минерала сассолина. Представляет собой белые кристаллы, имеющие вид чешуи.

*Бриллиант* – алмаз определенной формы огранки. Употребляется как наиболее ценное украшение.

*Бронза* – в современном обозначении – сплав меди с различными другими элементами, главным образом с металлами. Всего несколько десятилетий назад название «бронза» применялось только к сплавам меди с оловом.

*Бура*, или *тинкал*, –  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$ , десятиводная натриевая соль тетраборной кислоты. Хорошо растворяет металлические окислы и поэтому служит для очистки поверхности при пайке. Используется в керамической и кожевенной промышленности, в медицине и др.

*Бурый уголь* – разновидность ископаемых углей. Содержит от 50 до 90 % углерода и при сгорании дает сравнительно много золы и серы. Широко используется как топливо.

*Валуны* – обломки горных пород, главным образом гранитов, кварцитов, известняков и других размерами от 10 см до 10 м и более в диаметре. Образуются при выветривании горных пород, а также благодаря деятельности ледников. Используются для мощения улиц, для щебня в бетонных сооружениях; из крупных валунов сооружаются цоколи для памятников.

*Вернадскит* – очень редкий минерал, принадлежащий к группе основных водных сульфатов меди. Встречается в кратере Везувия.

*Вольфрамит* – буровато-черный минерал, в состав которого входят вольфрам, железо и марганец. Содержит до 50 % вольфрама и дает 95 % его мировой добычи. Применяется для изготовления стали и красок.

«*Волосы Венеры*», или *волосатик*, – горный хрусталь, дымчатый кварц или аметист с включениями рутила и других волосовидных минералов.

*Вторичные минералы* – минералы, возникшие в месторождениях вблизи земной поверхности в результате разрушения первичных минералов под действием грунтовых вод и кислорода воздуха.

*Выветривание* – разрушение горных пород и минералов под влиянием поверхностных деятелей: колебаний температуры, воды, атмосферы, организмов и др.

*Габбро* – магматическая глубинная горная порода. Богата железом, кальцием и магнием и бедна кремнекислотой. Цвет черный, зеленоватый или серый. Прекрасный строительный материал.

*Гадолинит* – черный или зеленовато-черный редкий минерал, сложный силикат редкоземельных элементов.

*Галенит*, или *свинцовый блеск*, – минерал серого цвета с серебряным блеском,  $\text{PbS}$ , содержащий до 86 % свинца. В галените содержится серебро, как постоянная примесь, и он часто является и ценной серебряной рудой. Галенит идет для изготовления сурика, для получения свинца, свинцовых белил и глазури, используется в радиотехнике.

*Галит*, или *поваренная соль*, *каменная соль*, – NaCl (натрия – 39,39 %, хлора – 60,61 %). Обладает соленым вкусом. Название «галит» связано с греческим «галос» – «соль». Так как она употребляется в пищу, то названа поваренной. Известное всем отсырение на влажном воздухе происходит в связи с содержанием в ней примесей. Каменная соль образовалась еще в минувшие геологические периоды на дне бывших водных бассейнов. Теперь эта соль залегают в виде сплошной каменной массы среди горных пород. Кроме того, соль осаждается и на поверхности земли, главным образом в степных и пустынных районах, в виде пленок и налетов, так называемых выцветов.

*Гётит* – хрупкий минерал желто-красноватого или черно-бурого цвета – водный окисел железа. Вместе с другими окислами железа используется как железная руда.

*Гипс* – минерал, а также мономинеральная осадочная горная порода белого цвета или слегка окрашенная. По химическому составу –  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ . Гипс очень распространен в природе и широко применяется для строительных, декоративных и лепных работ, для изготовления цемента; в медицине – для хирургических повязок; в агрономии – для улучшения почвы.

Разновидности гипса – алебастр и селенит – поделочные камни.

*Глина* – осадочная горная порода, в основном состоящая из водных кремнекислых соединений алюминия и содержащая часто мельчайшие частицы различных минералов: обладает пластичностью и способностью в смеси с водой образовывать тестообразную массу. Применяется в строительном деле, гончарном производстве и др.

*Глинозем* – окись алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Входит в состав многих горных пород и минералов (алюмосиликатов). Технически получается главным образом из боксита. В природе встречается в виде минерала корунда и др.

*Гнейс* – метаморфическая сланцеватая горная порода, сходная по составу с гранитом. Используется как строительный материал.

*Горные породы* – природные скопления минералов, объединенные общим процессом образования и обладающие более или менее постоянным составом и структурой. По своему происхождению породы разделяются на магматические, осадочные и метаморфические.

*Горный хрусталь*, см. кварц.

*Гранаты* – обширная по числу разновидностей и распространению группа минералов (из класса силикатов) разных цветов, с жирным стекляннным блеском и высокой твердостью. Некоторые гранаты используются для украшения, а также как абразивный материал.

*Гранит* – магматическая глубинная горная порода, кристаллически-зернистого строения. Состоит из кварца, полевого шпата, слюды, иногда роговой обманки. Цвет гранита разнообразен от белого до черного или

от светло-розового до темно-красного. Ввиду прочности, красоты, способности давать крупные монолиты гранит является ценным строительным, облицовочным, скульптурным и кислотоупорным материалом.

*Графит* – жирный на ощупь, пачкающий мягкий минерал от черного до стально-серого цвета, разновидность кристаллического углерода. Плавится при температуре выше 3000 °С, стоек по отношению к кислотам и щелочам. Применяется в литейном деле для изготовления плавильных тиглей, электродов, сухих элементов, красок, смазочных материалов, карандашей и др.

*Гремучая ртуть* –  $\text{Hg}(\text{ONC})_2$  – ртутная соль гремучей кислоты. Кристаллическое вещество белого или серого цвета, ядовита. Легко взрывается от удара, трения, при нагревании и от действия некоторых концентрированных кислот. Опасна в обращении. Применяется как взрывчатое вещество.

*Гуминовые кислоты* – кислотная часть гуминовых веществ, составляющих естественный перегной почв (гумус). Эти сложные органические вещества играют большую роль в растениеводстве. Диатомовые водоросли (диатомеи) или кремнистые водоросли – микроскопически малые одноклеточные водоросли с панцирем (оболочкой), пропитанным кремнеземом. Распространены в пресных и морских водах всего земного шара. Являются породообразующими организмами, образуя мощные залежи диатомита (диатомовая земля) и трепела (инфузорная земля). Эти скопления – диатомиты, трепелы имеют большое хозяйственное значение как строительный и абразивный материал.

*Диорит* – магматическая глубинная горная порода зеленовато-серого цвета. Состоит из плагиоклаза и роговой обманки, иногда с биотитом и кварцем (кварцевый диорит). Благодаря большой вязкости и твердости является хорошим, строительным материалом.

*Дистен* – минерал, см. *кианит*.

*Доломит* – белый, серый или слабо окрашенный минерал – карбонат кальция и магния. Содержит 30,4 % CaO и 21,7 % MgO. Термин «доломит» обозначает также плотную горную осадочную породу, состоящую главным образом из зерен минерала доломита. Встречается среди морских отложений различных геологических периодов. Употребляется как огнеупорный материал и как флюс при доменной плавке, также в химической промышленности и строительном деле.

*Дунит* – магматическая порода, состоящая главным образом из оливина с примесью хромита или магнетита.

*Железные руды* – минеральные вещества, содержащие от 25 до 70 % железа. К железным рудам относятся разнообразные соединения железа с кислородом: красный железняк (железный блеск, гематит), магнитный

железняк (магнетит), бурый железняк и его разновидности (лимонит, лимонит, гидрогётит и др.), гётит, сидерит (железный шпат), железистый кварцит и др. Соединения железа с серой непригодны для получения металла.

*Жеода* – округлые, овальные, реже чечевицеобразные пустоты в горной породе, на стенках которых выкристаллизовались минералы.

*Жила* (горная) – трещина в горных породах, заполненная какими-либо минералами, выкристаллизовавшимися из магмы или из растворов горячих или холодных.

*Забой* – место горной выработки, где непосредственно идет добыча полезного ископаемого.

*Занорыш* – пещерка, естественная пустота в пегматитовых жилах. На стенках таких пустот часто вырастают прекрасно образованные кристаллы разных минералов. Название дано уральскими горщиками.

*Земная кора* – литосфера – наружная твердая оболочка Земли, толщину которой от поверхности теоретически принимают всего в 15–17 км. Некоторые ученые считают ее до 60 км.

*Змеевик*, см. *серпентин*.

*Изверженные горные породы*, см. *магматические породы*.

*Известковый шпат*, см. *кальцит*.

*Известняк* – осадочная горная порода белого, серого и других цветов, состоящая из углекислого кальция ( $\text{CaCO}_3$ ). Часто представляет скопление остатков скелетов и раковин. Широко распространена в земной коре, образуя толщи огромной мощности. Применяется в строительной, цементной, химической, металлургической промышленности, в агрономии и других отраслях народного хозяйства.

*Изумруд*, см. *берилл*.

*Ил* – осадок на дне водоемов, состоящий в основном из мельчайших глинистых частиц размером меньше 0,01 мм. Обычно илом называют мягкий грунт, обладающий малой вязкостью и богатый водой.

*Ильменит*, или *титанистый железняк*, – полуметаллический, черный, непрозрачный минерал ( $\text{FeTiO}_3$ ). Важная титановая руда.

*Исландский шпат*, см. *кальцит*.

*Кальцит*, или *известковый шпат*, – белый, бесцветный или слабоокрашенный минерал – карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), часто с различными примесями. Встречается в прекрасно образованных кристаллах, зернистых и плотных массах, натечных, слоистых формах, сталактитах, сталагмитах. Совершенно прозрачный кальцит, удваивающий рассматриваемые через него изображения, называется исландским шпатом. Некоторые горные породы состоят целиком или почти целиком из кальцита, как, например, мраморы, известняки, мел.

*Каменная соль, см. галит.*

*Каолин – фарфоровая глина* – от китайского названия «каолонг» (гора с залежами каолина); светлоокрашенная, чаще белая, рыхлая тонкозернистая глина, состоящая почти целиком из минерала каолинита. Чистый каолин обладает высокой огнеупорностью, плавится при температуре 1750 °С. Образовался каолин путем разложения богатых полевым шпатом горных пород. Используется в фаянсово-фарфоровой, бумажной, резиновой, химической и других отраслях промышленности.

*Каолинит* – непрозрачный, матовый минерал белого цвета, состава  $Al_2(OH)_4[Si_2O_5]$ . Содержит около 40 % глинозема (окись алюминия), кремнезем и воду.

*Каменный уголь* – ископаемый уголь черного цвета, содержащий до 70–90 % углерода. См. *уголь ископаемый*.

*Карат* – мера веса драгоценных камней, равен 200 мг.

*Карбиды* – химические соединения металлов и некоторых неметаллов с углеродом, получающиеся при действии угля на металлы или их окислы.

*Карбонаты* – соли угольной кислоты. Карбонаты широко распространены в природе.

*Карлсбадский камень* – твердые отложения углекислого кальция из горячих минеральных источников Карловых Вар в Чехословакии. См. *арагонит*.

*Карналлит* – минерал красноватого цвета. Состав – водное хлористое соединение калия и магния. На воздухе расплывается вследствие поглощения воды. Источник калийных удобрений, а также получения металлического магния.

*Карст, карстовые явления* – формы рельефа, свойственные местностям, сложенным растворимыми в воде и проницаемыми для нее горными породами – известняками, доломитами, гипсом. В результате выщелачивания горных пород подземными водами в глубине развиваются пустоты и пещеры, а на поверхности провальные воронки и обширные замкнутые котловины. Реки в таких областях часто уходят в трещины и воронки, текут под землей, а затем вновь выступают на поверхность. Карстовые явления развиты у нас в Крыму, на Урале и в некоторых районах Сибири.

*Касситерит, или оловянный камень*, – минерал от бурого до черного цвета; двуокись олова ( $SnO_2$ ), с содержанием последнего до 79 %. Главнейшая оловянная руда.

*Кварц* – твердый, бесцветный, белый или различных цветов минерал, по составу двуокись кремния, или кремнезем ( $SiO_2$ ). Важная составная часть многих горных пород; один из наиболее распространенных минералов земной коры. Встречается в прекрасно образованных кристаллах, а также в зернистых и сплошных массах. Разновидности:

прозрачные кварцы – горный хрусталь, аметист, дымчатый кварц, или раухтопаз, цитрин; малопрозрачные – морион, молочный, серый и др.; непрозрачные – обыкновенный белый, железистый и др. Кварц широко используется в разнообразных отраслях промышленности – для изготовления физических приборов, оптических инструментов, в точной механике, радиотехнике, в стекольно-керамической промышленности и др.; ценится как драгоценный и поделочный камень.

*Квасцы* – химические соединения, представляющие собой двойные соли серной кислоты. В природе встречаются квасцы чаще всего алюминиевые (алунит) и железные (галотрихит).

*Керн* – цилиндрический столбик породы, получаемый при колонковом бурении. Является важным геологическим документом.

*Кианит*, или *дистен*, – минерал красивых голубых и синих тонов, просвечивающий до прозрачного. Содержит около 60 % окиси алюминия. Используется как высоко огне- и кислотоупорный материал, а прозрачные и красиво окрашенные разновидности кианита идут в огранку.

*Кимберлит* – темная, почти черная магматическая горная порода, состоящая главным образом из оливина, бурой слюды и пироксена, которая застыла в больших воронках взрыва; в Южной Африке, в Америке и в Якутии она содержит кристаллики алмаза.

*Киноварь* – минерал с алмазным блеском, красного цвета. По составу – сернистая ртуть. Киноварь является главной ртутной рудой.

*Клевеит* – минерал, содержащий уран и некоторое количество редких земель. При нагревании выделяет большое количество гелия, получившегося в минерале в результате радиоактивного распада урана. Изучая выделения газа из клевеита, ученые впервые открыли присутствие гелия на Земле. До этого гелий был известен только на Солнце.

*Колумбит* – буро-черный непрозрачный редкий минерал – ниоботанталовое соединение железа и марганца. Источник получения редких металлов – тантала и ниобия. Встречается преимущественно в пегматитовых жилах.

*Колчеданы* – цветные сернистые соединения меди и железа (также никеля и кобальта) с металлическим блеском. Термин вошел в науку от рудокопов, которые отличали колчеданы от блесков – сернистых соединений тех же металлов, но серого и белого цветов. Примеры – серный колчедан (пирит), медный блеск (халькозин).

*Компостельский рубин* – редкие ярко-красные кристаллы кварца, встречающиеся в образованиях пещер в Средней Азии, а также в Испании.

*Коралловые рифы* – подводные или поднимающиеся над водой скалистые рифы, образованные в основном известковыми постройками

колониальных кораллов. Распространены исключительно в тропических морях, вблизи побережий материков и островов или на мелких участках открытого моря.

*Кораллы*, или *коралловые полипы*, – морские животные, кишечнополостные. Большею частью живут неподвижными колониями. Скелет состоит из отдельных известковых телец.

*Корунд* – минерал, состоящий из окиси алюминия ( $Al_2O_3$ ). Выделяется своей исключительной твердостью: он чертит все минералы, кроме алмаза. Его прозрачные, однородно окрашенные кристаллы употребляются в качестве драгоценных камней. Красный корунд носит название рубина, синий – сапфира.

*Кошачий глаз* – зеленоватый прозрачный кварц с шелковистым отливом от включений волокон асбеста. Прекрасна игра его отшлифованной поверхности.

*Криолит* – снежно-белый, очень редкий минерал, представляющий фтористые соединения алюминия и натрия ( $Na_3AlF_6$ ). В расплавленном виде растворяет окись алюминия, что используется при электролизе металлического алюминия, а также в стекольном и фаянсовом производствах. В настоящее время изготавливается искусственным путем.

*Кристалл* – обычно твердое тело, в котором элементарные частицы расположены геометрически закономерно в узлах кристаллической решетки. Слово «кристалл» употреблялось еще задолго до нашей эры и означало горный хрусталь, происхождение которого связывалось тогда с окаменелым льдом. Впоследствии это слово стали применять для названия всех минералов, имеющих природную форму многогранника. Изучением кристаллов занимается кристаллография.

*Кристаллография* – наука о кристаллах; изучает форму, оптические, электрические, механические и другие свойства, а также вопросы, связанные с возникновением и ростом кристаллов, в зависимости от различий их в химическом составе.

*Крокус* – естественный или искусственный абразивный материал, применяется для полировки металлов, оптических и других стекол, поделочных и декоративных камней.

*Кунцит* – прозрачная, светло-лилового или розового цвета разновидность минерала сподумена – силиката лития и алюминия. Употребляется как драгоценный камень.

*Курская магнитная аномалия* – обширная территория в районе г. Курска, на которой наблюдается значительное отклонение магнитной стрелки, вызванное крупными залежами магнетита.

*Лабрадор* – минерал из группы полевых шпатов синевато-серого или черного цвета с яркими радужными переливами, напоминающими павлинье перо.

*Лабрадорит* – смешанные кристаллические породы, состоящие главным образом из лабрадора. Прекрасный строительный и декоративный камень.

*Лава* – огненно-жидкая масса (магма), вытекающая из кратера вулкана или из трещины на земную поверхность. После застывания образует различные вулканические горные породы. Последние залегают в виде потоков (на склонах вулкана) или покровов (при излиянии из трещин), иногда занимающих огромные площади.

*Лагуна* – мелководный залив или бухта, отделенная от моря (или озера) наносными песчано-глинистыми валами. В зависимости от климата района, лагуна может содержать соленую и слабосоленую воду; соленость воды иногда объясняется периодическими прорывами в лагуну морской воды. Органический мир лагун всегда беднее населения моря.

*Лакколит* – форма залегания магматических пород в земной коре в виде плоско-выпуклых тел типа каравая или шляпки гриба. Магма затвердела, не достигнув земной поверхности, сводообразно изогнув лежащие на ней слои. Лакколит, освобожденный выветриванием и размыванием от покрывающих осадочных пород, образует невысокие горы, например Бештау, Машук (Северный Кавказ), Аю-Даг (Крым) и др.

*Латерит*, или *краснозем*, – красноцветные глиноподобные продукты разрушения горных пород в условиях влажных субтропических областей. Содержат окислы железа и алюминия. По внешнему виду напоминают кирпич, откуда и название – от латинского «латер», то есть «кирпич».

*Ледник*, или *глетчер*, – естественная масса льда, которая, наподобие ледяной реки, медленно движется под действием силы тяжести по склону горы или по долине. При своем движении ледник разрушает свое ложе, шлифует выступы своего русла, царапает их обломками пород, вмержшими в лед, переносит на значительные расстояния и там откладывает огромные количества обломков скал, окатанных валунов и т. п. (морены). Достигая области таяния, горный ледник дает начало бурным рекам.

*Лейцит* – белый или сероватый минерал из группы силикатов, содержащий алюминий и калий. Часто образует шаровидные двадцатичетырехгранники. Встречается как составная часть некоторых излившихся горных пород. В настоящее время делаются попытки извлекать из лейцита калий и металлический алюминий.

*Лимонит* – коллоидный осадок различных гидратов окислов железа переменного состава. Употребляется как руда на железо. См. *железная руда*.

*Линза* (в геологии) – чечевицеобразная форма залегания горных пород и полезных ископаемых, представляющая собой округлое или овальное тело с уменьшением мощности к краям.

*Литосфера, см. земная кора.*

*Магма* (по-гречески «тесто») – огненно-жидкая расплавленная масса, находящаяся под твердой корой земного шара. По химическому составу это сложный силикатный расплав. От изменения температуры, давления и других факторов магма расчленяется на отдельные участки, различные по своему составу, каждый из которых при затвердевании дает особую горную породу.

*Магнетические породы*, или изверженные, горные породы, образовавшиеся из расплавленной магмы при ее застывании и затвердевании. Делятся на *глубинные* породы, т. е. затвердевшие на глубине (гранит, перидотит, габбро и др.), и на *излившиеся* породы, т. е. образовавшиеся из магмы, вылившейся на земную поверхность, например при вулканическом извержении (андезит, базальт, липарит и пр.).

*Магнезит* – белый или слабо окрашенный минерал. Химически – углекислый магний. Прекрасный огнеупорный материал для металлургических печей и пр.

*Магнетит*, или *магнитный железняк*, – черный непрозрачный минерал, состоит из закиси и окиси железа; сильно магнитен, слагает иногда целые горы (гора Магнитная и гора Высокая на Урале). Важнейшая железная руда. См. *железные руды*.

*Марганцевые руды* представляют собой различные окислы марганца, образовавшие скопления среди осадочных пород. Важнейшими минералами марганцевых руд служат псиломелан, пиролюзит и манганит.

*Масс-спектрограф* – прибор, позволяющий определять количество изотопов в различных химических элементах.

*Мел* – белая, мягкая, тонкоземлистая осадочная горная порода органического происхождения. Образована скоплениями микроскопических раковин и состоит в основном из углекислого кальция. Применяется в стекольной, цементной, резиновой, бумажной и красильной промышленности, как пишущий материал и др.

*Меловой период* завершает собой мезозойскую эру образования земной коры. Подразделяется на две эпохи – нижнемеловую и верхнемеловую. Из морских осадков этого периода особенно характерны отложения мощных толщ писчего мела.

*Менделеевит* – редкий минерал черного цвета, содержащий ниобий и тантал.

*Мергель* – осадочная порода, состоящая из глины и известняка, смешанных в различных пропорциях (глинистый и известковистый мергель). Наличие в мергеле 75–80 % углекислого кальция и 20–25 % глины делает его пригодным для производства портландцемента без всяких добавок (цементный мергель, или натуральный цемент).

*Метаморфизм*, см. *метаморфические породы*.

*Метаморфические породы* – горные породы магматического или осадочного происхождения, подвергшиеся уже после своего образования изменениям (метаморфизму) их минералогического и химического состава и структуры; разделяются на породы глубинного метаморфизма (кристаллические сланцы, слюдяные сланцы, гнейсы и др.), контактового метаморфизма (роговиковые породы, турмалиновые сланцы и др.), частично переплавленные породы.

*Метеор* – световое явление, имеющее вид «падающей звезды» и вызываемое вторжением из межпланетного пространства в земную атмосферу мелкой твердой крупинки, весом в доли грамма.

*Метеорит* – железная или каменная масса, падающая на землю и представляющая собой остаток не успевшего полностью разрушиться в земной атмосфере метеорного тела.

*Метеоритика* – особая область науки, занимающаяся изучением метеоритов и условий падений их на Землю.

*Метеорное тело* – твердая железная или каменная масса, весом от долей грамма до многих тысяч тонн, движущаяся в межпланетном пространстве вокруг Солнца как самостоятельное небесное тело. При вторжении в земную атмосферу метеорное тело вызывает явление метеора или болида, иногда оканчивающегося падением на Землю метеорита.

*Миграция элементов* – перемещение и перераспределение химических элементов в земной коре, в результате которого происходит рассеяние элемента на одних и концентрация его на других участках.

*Микрон* – одна тысячная миллиметра.

*Минеральный источник* – источник, в воде которого в большом количестве растворены неорганические вещества.

*Молибденит* – минерал свинцово-серого цвета с металлическим блеском. По химическому составу – дисульфид молибдена  $\text{MoS}_2$ . Главная молибденовая руда.

*Мономинеральный* – состоящий из одного какого-нибудь минерала.

*Морион* – горный хрусталь почти черного цвета, однако просвечивающий в тонких осколках бурым цветом. При осторожном нагревании (запекании в хлеб) светлеет и делается желтым, чем пользуются ювелиры. При дальнейшем нагревании окраска может исчезнуть совсем. Состав окраски и ее происхождение еще не выяснены<sup>[94]</sup>. См. *кварц*.

*Мрамор* – общее наименование для мелко- или среднекристаллических зернистых известняков и доломитов, способных принимать полировку. Мрамору свойственно разнообразие красок и узоров. Ценный и важный строительный, технический, облицовочный и декоративный материал. Белоснежный и розовый мрамор идет для скульптурных работ.

*Мраморный оникс* – полосчатое отложение кальцита разной окраски. Употребляется как красивый декоративный камень.

*Мурманит* – редкий минерал фиолетового цвета, титаносиликат натрия из пегматитов нефелиновых сиенитов.

*Мусковит*, см. *слюда*.

*Нарзан* – минеральный источник в городе Кисловодске. Вода источника благодаря растворенным солям и большому количеству свободной углекислоты обладает ценными лечебными свойствами.

*Нептунизм* – учение о происхождении всех горных пород (в том числе и изверженных) из водных осадков, имевшее широкое распространение среди геологов в конце XVIII и начале XIX в.

*Нефелин*, или *элеолит*, – серовато-белый или зеленоватый, со стеклянным или жирным блеском минерал, химически богатый щелочами алюмосиликат. Нефелин пригоден как алюминиевая руда, а также в химической промышленности (получение соды, квасцов, силикагеля и др.), в абразивной, фарфоровой, стекольной, кожевенной (заменяет дубители), в производстве водонепроницаемых тканей, в деревопропитке, как удобрение и др.

*Нефелиновый сиенит* – глубинная магматическая порода, состоящая из нефелина, полевого шпата, пироксена и амфибола, но всегда без кварца. Встречается сравнительно редко; наиболее крупное скопление находится на Кольском полуострове, а также на южном Урале в Ильменских горах,

*Нефрит* – минерал молочно-белого, серого, яблочно-зеленого до темного, почти черно-зеленого цвета. Известково-магнезиально-железистый силикат. Малопрозрачен, но в тонких пластинках просвечивает. Хорошо полируется. Очень ценный по прочности и вязкости и состоит из микроскопического сплетения волокон. Применяется как поделочный и отчасти технический камень.

*Нефть*, или *жидкие битумы*, – представляет жидкость, окрашенную в бурый, темно-зеленый или черный цвет, изредка встречается почти бесцветная. Легко узнается по запаху, напоминающему керосин. Главными составными частями нефти являются углерод и водород, которые образуют соединения – углеводороды – чрезвычайно разнообразного состава. Нефть залегает пластами и гнездами, пропитывая рыхлые или пористые осадочные породы. Нефть играет чрезвычайно важную роль в различных отраслях народного хозяйства и главным образом употребляется в качестве топлива и в химической промышленности. При переработке на перегонных заводах из нее получают различные ценные продукты, как бензин, керосин, газолин, смазочные масла, асфальт, взрывчатые вещества и многое другое.

*Нонтронит* – редкий минерал – силикат окиси железа землистого вида, яблочно-зеленого цвета; является продуктом выветривания первичного силиката.

*Обнажение* – место непосредственного выхода на дневную поверхность горных пород, жил, месторождений полезных ископаемых. Обнажения могут быть естественными и искусственными (расчистки).

*Обогащение* – предварительная обработка полезного ископаемого для отделения его от пустой породы или других минералов.

*Окалина* – корка, образующаяся на поверхности расплавленного металла (железа, меди), обрабатываемого при доступе воздуха. Состав окалины непостоянен и зависит от температуры и избытка воздуха при ее образовании.

*Оливин*, или *перидот*, – просвечивающий минерал желто-зеленого, оливкового или желто-бурого цвета со стеклянным блеском. Силикат железа и магния. Встречается в таблитчатых кристаллах и в зернах. Прозрачные кристаллы золотисто-зеленого цвета носят название *хризолита* и идут в огранку.

*Оливиновые породы* – глубинные магматические горные породы, главной составной частью которых является минерал оливин.

*Оловянный камень*, см. *касситерит*.

*Оникс* – разновидность агата; состоит из слоев различного цвета: белых и черных, белых и красных и др. Слои плоские и полосы прямые; служит для изготовления камней и других поделок.

*Опал* – минерал аморфного (некристаллического, стекловидного) строения, представляющий кремнезем с меняющимся содержанием воды. Отличается большим разнообразием внешнего вида. Главные разновидности – прозрачные, радужные и ровно окрашенные (благородный опал, гиалит, гидрофан, огненный опал и др.), обыкновенные опалы – нерадужные и не вполне прозрачные (молочный, восковой и др.) и полуопалы – слегка просвечивающие или непрозрачные, содержащие механические примеси (агатový, яшмовый, халцедоновый и пр.); *кахолонг* – белый фарфоровидный опал. Опалы широко распространены в природе, выделяются из горячих и холодных вод. Большие количества опалового вещества накапливаются на дне морей в результате жизнедеятельности морских животных и растений (радиолярий, губок, диатомей).

*Орбита* – путь движения небесного тела в межпланетном пространстве вокруг Солнца.

*Ортоклаз*, см. *полевоы шпат*.

*Осадочные породы* – слоистые породы, образовавшиеся в результате осаждения минеральных веществ под действием силы тяжести, большею частью из воды, например известняки, песчаники и др.

*Осмистый иридий* – редкий минерал группы платины, представляющий природный сплав осмия с иридием.

*Охра* – желтые землистые продукты окисления тяжелых металлов (например, охры ванадиевые, вольфрамовые, железные, хромовые, свинцовые и т. д.). В красочном деле – красители гидратов окиси железа с разным содержанием воды и разных тонов, от землисто-желтого до красного.

*Палеозойская эра, или палеозой*, – древняя эра в истории Земли, или эра древней жизни. Подразделяется на пять систем: кембрий, силур, девон, карбон, пермь<sup>[95]</sup>. Полезные ископаемые, возникшие на территории СССР за время палеозоя, очень обильны.

*Пегматит* – 1) жильные породы разнообразного состава, образовавшиеся из остаточной части магмы, насыщенной летучими и легкоплавкими элементами. Пегматитовые образования могут быть связаны с разными породами, но особенно известны *гранитные пегматиты*. Они отличаются очень крупными выделениями полевого шпата, кварца, темной и белой слюды, нередко скоплениями самоцветных камней и редких минералов; 2) закономерное прорастание ортоклаза кварцем с образованием структуры, напоминающей древние письма.

*Перидотит* – темно-серая или черная кристаллическая магматическая глубинная порода, состоящая из минералов оливина и пироксена. Богата железом и магнием.

*Пермская система, или пермский период*, – слои, образовавшиеся в течение последнего периода палеозойской эры; она следует непосредственно за каменноугольной системой. Название происходит от бывшей Пермской губернии, в районе которой наиболее полно развита данная система и где она была впервые описана.

*Пермское море* – море Пермской системы.

*Песок* – мелкообломочная рыхлая порода, состоящая из окатанных или остроугольных зерен отдельных минералов (кварц, полевой шпат и др.), величина которых колеблется от 2 до 0,02 мм. По своему происхождению они представляют продукт разрушения, переноса и отложения ранее существовавших пород. Пески разрабатываются для самых различных целей. В зависимости от технического применения различают следующие сорта их: строительные, стекольные, литейные, шлифовальные, фильтровальные и т. д.

*Петрография* – раздел геологии, изучающий состав и строение горных пород.

*Пирит, или серный колчедан*, – сернистое соединение железа; минерал латунно-желтого цвета, состоящий из 46,7 % железа и 53,3 % серы. Очень распространенный минерал, в основном идущий на приготовление серной кислоты, железного купороса, квасцов, серы.

*Пироксены* – силикаты, богатые железом, кальцием, магнием сложного химического состава; серого, желтоватого и зеленого до черного цвета. Блеск стеклянный. Пироксен имеет много разновидностей (энстатит, бронзит, гиперстен, диопсид и т. д.). Обычным представителем этой группы минералов является *авгит*.

*Плавиковый шпат*, см. *флюорит*.

*Плагиоклаз*, см. *полевошпат*.

*Плутонизм* – учение о происхождении всех горных пород под действием подземного жара, распространенное в конце XVIII в.

*Поделки из камня* – мелкие изделия и украшения из самоцветного и цветного камня.

*Полевошпат* – самая распространенная группа минералов, составляющая около 50 % по весу всей земной коры и являющаяся главной составной частью большинства горных пород; по химическому составу полевые шпаты являются алюмосиликатами натрия, калия и кальция. В зависимости от состава делятся на 1) калиевые (*ортоклаз* и *микроклин*) и 2) натрокальциевые (*плагиоклазы*).

*Полиметаллическая руда* – руда, содержащая несколько металлов, чаще всего – медь, цинк, свинец, серебро.

*Поляризационный микроскоп* – микроскоп, приспособленный к изучению кристаллических веществ. Применяется преимущественно для изучения горных пород и минералов<sup>[96]</sup>.

*Поляроид* – пленка или пластинка, приготовленная из особых кристаллов, поляризующая естественный свет.

*Порфиры* – общее название для всех пород с большими кристаллами и крупными зернами минералов (полевошпат, кварц), погруженными в основную массу, которая состоит из более мелких зерен.

*Почвы* – поверхностные образования, связанные с выветриванием горных пород, переработанные водой, воздухом и различными процессами жизнедеятельности растений и животных.

*Протуберанцы* – выступы на солнечной поверхности, состоящие из раскаленных газов, главным образом кальция и водорода. Хорошо наблюдаются во время полного солнечного затмения в виде огненных фонтанов и извержений близ края солнечного диска. Помимо затмений наблюдать их можно только с помощью спектроскопа.

*Псевдоморфоза* – минеральные образования с кристаллической структурой или сложением, не свойственным для данного минерала. Такие минералы принимают внешнюю форму других минералов, ископаемых деревьев, раковин<sup>[97]</sup>.

*Радиолярии* – микроскопически малые одноклеточные организмы, принадлежащие к типу простейших. Замечательны необыкновенным разнообразием скелета, состоящего главным образом из кремнезема.

*Рапа* – рассол – вода, насыщенная растворенными в ней солями в количестве, превышающем их содержание в морской воде; образуется в отдельных замкнутых водоемах, подвергающихся постоянному усиленному испарению.

*Раскислители* – материалы, прибавляемые к жидкой стали после выгорания примесей для восстановления растворенной в металле закиси железа, дающей красноромкий продукт. Раскислители обыкновенно содержат в себе три элемента, производящие восстановление закиси железа, – углерод, марганец и кремний.

*Ратовкит*, см. *флюорит*.

*Регмаглипты* – характерные углубления на поверхностях метеоритов, образующиеся в результате «сверлящего» действия земной атмосферы на поверхностные слои метеоритов во время их движения с космическими скоростями.

*Рентгеновские лучи* – коротковолновые электромагнитные излучения, открытые немецким физиком В. К. Рентгеном в 1895 г. Имеют чрезвычайно широкое применение в науке и технике. При их помощи изучается строение атомов, молекул. Они применяются для анализа вещества с целью отыскания в нем тех или иных элементов. Широко применяются в медицине.

*Роговая обманка*, см. *амфибол*.

*Рубин* – красная разновидность корунда, идущая на ювелирные изделия, на камни (опоры) для часов, счетчиков и т. д. Получается и искусственным путем. См. *корунд*.

*Руда* – минерал или горная порода, в которой содержание полезного ископаемого настолько велико, что его экономически выгодно разрабатывать<sup>[98]</sup>.

*Рудные месторождения* – естественные скопления руды в земной коре, которые по условиям залегания, размерам и процентному содержанию металлов являются экономически выгодными для разработки.

*Рутил* – минерал, представляющий двуокись титана (TiO<sub>2</sub>); образует кристаллы бурого и мясо-красного цвета. Встречается иногда вросшим в кварце – волосатике – в виде тонких волокон, так называемых «волос Венеры».

*Самарскит* – редкий минерал бархатно-черного цвета из группы ниобатов и танталатов.

*Самоцвет* – уральское название драгоценных камней, которые подвергаются огранке: изумруд, топаз, сапфир и др.

*Сапфир*, см. *корунд*.

*Сардер* – старинное название (сард) халцедона красного цвета, от светлого до глубоких оттенков, также коричнево-красный до бурого.

*Свинцовый блеск*, см. *галенит*.

*Сейсмограф*, или *сейсмометр*, – прибор для регистрации и (сотрясений), вызванных в земле и инженерных сооружениях землетрясениями, взрывами, действием транспорта, заводскими машинами и другими причинами.

*Сейсмология* – наука о землетрясениях.

*Селитра* – азотнокислая соль калия или натрия. В природе встречается в пустынных районах в виде тонких белых корочек на поверхности земли, скалах и т. п. Употребляется для удобрений и для производства взрывчатых веществ.

*Серный колчедан*, см. *пирит*.

*Серпентин* – водный силикат магния с небольшим содержанием железа, хрома и никеля; распространенный минерал от луково-зеленого до красновато-зеленого цвета. Употребляется как орнаментовочный камень.

*Серпентинит*, или *змеевик*, – плотная зеленая порода вторичного происхождения, состоящая из серпентина, магнетита, хромита и др.; часто в ней наблюдаются пятна зеленого, черного, серого, белого, красного, желтого цветов, придающих ей сходство с кожей змеи.

*Сиенит* – магматическая глубинная порода светлой окраски, состоящая в основном из полевых шпатов, слюды и частично роговой обманки. Отличается от гранита отсутствием кварца. Название свое ведет от города Сиены в Египте.

*Силикаты* – большая группа минералов, представляющих вещества с содержанием кремния и ряда других элементов (природные соли различных кислот кремния). В земной коре силикаты составляют самую крупную группу среди минералов; к ним принадлежат полевые шпаты, слюды, роговые обманки, пироксены, каолиновые минералы и др.

*Сланцы* – горные породы, которые, независимо от состава и происхождения, характеризуются тонкослоистым сложением и обладают хорошо выраженной сланцеватостью, то есть способностью разделяться на более или менее тонкие, плоские параллельные слои или пластины; могут происходить из осадочных и из магматических пород путем метаморфизма.

*Слюда* – группа сложных по составу минералов: алюмосиликатов щелочей, магния и железа. Характерная способность слюды – расщепляться на очень тонкие пластинки. Главнейшие слюды: белая слюда, или *мусковит*, – прозрачная, светлая, калиевая; черная, или *биотит*, просвечивающая до непрозрачной, богатая железом и

магнием. Встречаются кристаллами иногда очень крупных размеров. Ценный электроизоляционный материал<sup>[99]</sup>.

*Слюдяной сланец* – сланцеватая горная порода, состоящая главным образом из слюды и кварца с небольшим количеством полевого шпата.

*Смарагд* – старинное название изумруда.

*Солончак* – почва, пропитанная солями настолько, что от корочек или кристалликов солей она окрашивается в белый цвет.

*Соффионы* – вулканические газовые струи, содержащие сероводород и углекислоту, а также в небольшом количестве – аммиак и метан. Наиболее известные соффионы находятся в Тоскане (Италия). В них содержится борная кислота, которую извлекают для промышленных целей. Пар соффионов используется для отопления.

*Спектральный анализ* – метод определения химического состава какого-либо сложного вещества по изучению спектра этого вещества. Метод отличается высокой чувствительностью.

*Спектроскоп* – прибор для изучения оптических спектров.

*Сталагмиты* – натечные образования на дне подземных пещер или галерей, образуемые падающими сверху каплями воды, насыщенной карбонатами. Нарастают постепенно от пола пещеры вверх.

*Сталактиты* – натечные массы кальцита и других минералов цилиндрической формы (подобные сосулькам льда), спускающиеся с потолков и верхней части стен подземных пещер и галерей в известняковых породах.

*Сталь* – более или менее ковкий сплав углеродистого железа с различными химическими элементами.

*Стибнит*, см. *антимонит*.

*Сфалерит*, или *цинковая обманка*, – минерал желтого, буро-красного, зеленого и черного цветов с алмазным блеском. Соединение цинка и серы. Добывается для получения цинка. Назван обманкой потому, что, походя часто на свинцовый блеск, он не содержит, однако, свинца. Сфалерит происходит от греческого слова «сфалерос» – «обманчивый».

*Суперфосфат* – минеральное удобрение, представляющее смесь главным образом сернокислого кальция и кислого фосфорнокислого кальция. Суперфосфат – наиболее распространенное удобрение.

*Сурьмяной блеск*, см. *антимонит*.

*Тальк* – силикат магния, один из самых мягких минералов, цвет серебристо-белый, зеленоватый и желтоватый, характерен жирный блеск с перламутровым отливом, на ощупь жирен.

Употребляется в виде порошка, в качестве гигиенической присыпки и наполнителя в резиновой, бумажной, красочной и других отраслях промышленности; в плотном виде – в виде плит, как огне- и

кислотоупорный материал и как электроизолятор. Плотная разновидность называется стеатит, или жировик<sup>[100]</sup>.

*Тектоника* – отдел геологии, занимающийся изучением залегания толщ горных пород и различных нарушений в их залегании.

*Тектиты* – небольшие куски оплавленного стекла, найденные во многих местах земного шара. Происхождение тектитов до настоящего времени не получило полного объяснения. Некоторые считают их метеоритами.

*Тетраэдр* – четырехгранник, все четыре грани которого – треугольники.

*Тигровый глаз* – желто-бурый, буровато-черный кварц с золотистым отливом от включений волокон роговой обманки.

*Титанистый железняк*, см. *ильменит*.

*Толуол* – химическое соединение, получаемое из каменноугольной смолы и газов коксовых печей. Основное сырье для производства сахарина; применяется в производстве красителей. Нитрованием толуола получают тротил – одно из важнейших взрывчатых веществ.

*Топаз* – прозрачный, просвечивающий и непрозрачный минерал, бесцветный, винно-желтый, зеленоватый, голубой, розовый с сильным стеклянным блеском. Химически – фторосиликат алюминия. Его прозрачные, прекрасно образованные кристаллы используются как драгоценный камень. На Урале его называют *тяжеловесом*.

*Топочка* – опора, подпятничек из минерала большой твердости, главным образом из рубина (природного и синтетического). Употребляется в механизмах высокой точности. На топочках удерживаются быстро вращающиеся части. Примером топочек являются камни в часах.

*Туранит* – редкий, оливково-зеленого цвета, минерал, состоящий из меди и ванадия; образуется в зоне поверхностного выветривания некоторых месторождений.

*Турбодетандер* – машина для охлаждения газа путем его расширения, с использованием турбины. Применяется для получения кислорода и других газов из воздуха.

*Турмалин* – минерал очень сложного и изменчивого состава – алюмоборосиликат. Цвет чрезвычайно разнообразен. Имеет несколько разновидностей. Применяется как драгоценный камень и как термо- и пьезоэлектрическое сырье.

*Туф вулканический* (или *настоящий*) – порода, представляющая собой спрессованный вулканический пепел. Цвет от сероватого, нежно-фиолетового до черного.

*Уваровит* – кальциево-хромистый гранат изумрудно-зеленого цвета.

*Уголь ископаемый* – представляет собой продукт постепенного изменения в течение геологических периодов больших скоплений разного рода органических остатков, главным образом растительных.

Встречается в пластовом залегании, переслаиваясь с глинами, песчаниками и другими породами. Мощность пластов колеблется от долей сантиметра до нескольких метров. Различают: *антрацит*, *каменный уголь* и *бурый уголь*.

*Ультраосновные породы* – породы, особенно («ультра» – «сверх меры») богатые такими металлами (основаниями), как магний, кальций и закись железа; содержат 45 % кремневой кислоты. Все они отличаются темным (зеленым или черным) цветом, тяжелы, образуются из расплавов и самых больших глубинах земной коры.

*Фенакит* – ярко-вишнево-желтый, иногда бледно-розово-красный, прозрачный до полупрозрачного минерал – силикат бериллия.

*Флюорит*, или *плавиковый шпат*, – минерал, большей частью окрашенный в различные оттенки фиолетового, зеленого, синего, серого цвета со стеклянным блеском; по химическому составу – фтористый кальций. Употребляется в металлургии как флюс (плавень), понижающий температуру плавления металлов, в химической промышленности для получения плавиковой кислоты, для пропитки шпал, в керамике, стекольном производстве. Прозрачные кристаллы употребляются в оптике и называются оптическим флюоритом. Более красивые образцы ждут как поделочный материал. Разновидность флюорита землистого вида розовато-фиолетового цвета носит название *ратовкита*.

*Флюс* – минеральные вещества, прибавляемые к руде для того, чтобы руда легче плавилась и отделяла металл от расплавленной пустой породы (шлака). Флюсами могут быть кварц, известняк, флюорит и другие минералы и породы.

*Фораминиферы* – простейшие одноклеточные животные, с раковиной, образованной большей частью из  $\text{CaCO}_3$  (углекислого кальция), встречаются в осадочных морских отложениях всех геологических периодов; некоторые фораминиферы имеют значение для определения геологического возраста пород.

*Фосфаты* – соединения фосфора с различными металлами. В природных условиях чаще всего встречаются соединения с кальцием и фтором: *апатит*, *фосфорит*.

*Фосфорит* – разновидность минерала *апатита* осадочно-органогенного происхождения. По виду это конкреции, черепковидные или шаровидные, с радиально-лучистым сложением. Если примесей глин и известняка немного, то является ценным минеральным удобрением.

*Фульгуриты* – небольшие, толщиной в палец, трубочки, образовавшиеся в песках путем выжигания или спекания их электрическим разрядом молнии.

*Халцедон* – минерал всевозможных цветов, представляющий скрыто-кристаллическую волокнистую разновидность кварца. Встречается в виде желваков и натечных форм. Полупрозрачный, просвечивающий.

Употребляется для технических изделий, а также как полудрагоценный и поделочный камень. Полосатые его разновидности называют *агатом*.

*Халькопирит*, или *медный колчедан*, – золотисто-желтый минерал, содержащий 35 % меди, 35 % серы и 30 % железа. Одна из главнейших медных руд.

*Хлориты* – минералы, представляющие собой водные алюмосиликаты магния, в которых часть окиси магния и глинозема заменена окислами железа; цвет зеленый разных оттенков до черного; в хлориты чаще всего переходят биотиты, роговые обманки, пироксены. Минерал, подобно слюде, пластинчатый, отличается от последней отсутствием упругости.

*Хризоберилл* – прозрачный зеленого цвета минерал, в состав которого входят бериллий и алюминий с некоторой примесью железа и иногда хрома ( $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ ). Редкий драгоценный камень. («Хризос» – «золотистый», «бериллос» – «берилл»).

*Хромированная сталь* – сталь, покрытая хромом. Отличается прочностью поверхности и стойкостью против химического воздействия.

*Хромит*, или *хромистый железняк*, – тяжелый минерал черного или буровато-черного цвета. Встречается в плотных и зернистых массах. Руда для получения хрома.

*Хрусталь горный*, или *горный хрусталь*, – прозрачная разновидность кварца. В природе встречается в виде прекрасных шестигранных кристаллов. Употребляется в радиотехнике.

*Целестин* – минерал, представляющий собой сернокислый стронций ( $\text{SrSO}_4$ ), красивого небесно-голубого цвета. Употребляется для получения стронциевых солей.

*Цемент* – прокаленная смесь известняка и глины. С водой цемент затвердевает в крепкую каменную массу. Изготавливается в огромных количествах и употребляется для строительных целей.

*Цианирование* – метод извлечения золота из горных пород. По этому методу тонкораспыленное золото растворяют в водных растворах цианистого калия.

*Цинковая обманка*, см. *сфалерит*.

*Шахта* – вертикальная или наклонная горная выработка больших размеров, имеющая выход на поверхность и служащая для добычи полезного ископаемого. Шахты достигают иногда глубины в 3000 м и более.

*Шеелит* – непрозрачный серовато-желтоватого цвета с жирным блеском минерал, представляющий вольфрамовокислый кальций ( $\text{CaWO}_4$ ). Под воздействием ультрафиолетовых лучей светится красивым зеленовато-синим цветом. Добывается для получения вольфрама – важнейшего элемента в металлургии.

*Шихта* – смесь руды с необходимыми добавками, составленная по определенному расчету и поступающая в печь для выплавки наиболее чистого металла.

*Шлейфы* – длинные и пологие выносы на равнины из перемытых и перенесенных водой горных пород.

*Шлих* – остаток измельченных минералов с тяжелым удельным весом после промывки золотоносных и платиноносных песков. По цвету делится на черный и серый, в зависимости от цвета содержащихся в нем минералов.

*Шор* – солончак, образовавшийся на месте высохшего озера, с ясно выраженной береговой линией.

*Штольня* – горизонтальная или слабо наклонная горная выработка, одним своим концом выходящая на поверхность. Поперечные сечения штольни трапецеидальные, овальные или круглые.

*Штуф* – образец, кусок минерала, нередко с породой, в которой находится минерал.

*Шурф* – неглубокая вертикальная шахтообразная выработка, которая проводится для разведки месторождений полезных ископаемых.

*Эвклаз* – очень редкий прозрачный голубой или голубовато-зеленый минерал из группы силикатов, по составу очень близкий к бериллу. Красивый самоцвет.

*Электроскоп* – прибор для обнаружения или грубого измерения электрического напряжения между двумя телами.

*Эманация* – газообразные продукты распада радиоактивных элементов.

*Эра геологическая* – самая крупная единица времени геологической хронологии, соответствующая геологической группе. Различают четыре эры: архейскую, палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую<sup>[101]</sup>.

*Янтарь* – ископаемая смола хвойных деревьев преимущественно третичного периода, затвердевшая в плотную массу. Цвет от молочного, медово-желтого, бурого до темно-оранжевого и красноватого. Хрупок, но легко обтачивается и полируется. Горит с ароматическим запахом. Применяется в химической промышленности, в электротехнике и как поделочный камень.

*Яшма* – разновидность минерала *халцедона* с большим количеством примесей в виде тонкорассеянного красящего вещества. Встречается в больших скоплениях. Прочность и твердость яшмы, красота и разнообразие ее оттенков создают техническую и художественную ценность этого камня.