

МОСКОВСКОЕ ОБЩЕСТВО ИСПЫТАТЕЛЕЙ ПРИРОДЫ

Академик А. Е. ФЕРСМАН

ЭЧЗ

ХИМИЯ ЗЕМЛИ
НА НОВЫХ ПУТЯХ

МОСКВА—1944

Напечатано по постановлению Совета
Московского общества испытателей природы

Президент акад. *Н. Д. Зелинский*

Ученый секретарь *С. Ю. Липшиц*

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР

1

7559

665 ⁷
63

ХИМИЯ ЗЕМЛИ НА НОВЫХ ПУТЯХ¹

«Природа — пробный камень
диалектики».

Ф. Энгельс

1. ВВЕДЕНИЕ. ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ ТРИДЦАТЬ ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

Тридцать лет тому назад (1911 г.) в годовичном собрании Московского общества испытателей природы, по приглашению президента Общества, незабвенного Николая Алексеевича Умова мне пришлось прочесть речь на тему: «Новые пути минералогии».

В увлечении широкими новыми горизонтами естествознания я пытался пересмотреть старые представления в свете нахлынувших новых идей радиоактивности, новой кристаллографии, как физики твердых фаз, физической химии с ее законами динамики природных процессов.

Я говорил:

«Химическая жизнь земной коры, вечно работающая лаборатория природы, потребовала новых и новых путей для своего исследования. К минералогии вдруг предъявились требования, о которых не мог и помышлять какой-либо профессор сухой немецкой школы, для которого табличка признаков минералов, их плавкость, цвет и блеск были несложным катехизисом всей минералогической науки.

«Минералогия выросла из узких рамок чисто описательной науки и мало-помалу превращается в науку историческую.

«Теперь мы на пороге новых научных течений. Для них уже давно в тиши научных кабинетов и лабораторий расчищалась дорога, уже давно незаметно сменялось тихое описательное направление минералогии стремлением к познанию происхождения вещей. Познание «Das Werden der Dinge» («Становление вещи») В. Гете неизменно влечет естественное-исторические науки и вносит в них генетический принцип».

Я говорил:

«Мы должны быть химиками земной коры. Мы должны изучать не только распространение и образование минералов, этих временно устойчивых комбинаций, элементов, мы должны изучать и самые элементы, их распространение, их переходы, их жизнь. Для каждого элемента в природе мы должны нарисовать его историю существования, начиная от мельчайших примесей микрокосмического характера и кончая его огромными скоплениями, которые мы в жизни называем месторождением.

«Но новые задачи требуют новых путей, новые пути — новых людей, так как нельзя лить в старые мехи новое вино.

¹ Речь на торжественном заседании Общества испытателей природы по случаю 135-летия Общества — 26 января 1941 г.

«Задачи поняты, пути найдены... а люди... люди придут, если резко и ясно войдет в научное сознание цель минералогии — как химии земной коры.

«Так оживают перед нами старые схемы скучной минералогии и из отдельных страниц мы вырываем отдельные строчки и, перекраивая их, создаем картины химической жизни земли. Ведь мы берем для этого старые классификационные схемы и на них строим новое здание — геохимию. Мы научаемся ценить огромный материал, накопленный веками скучной, педантичной, описательной работы, научаемся ценить и те старые искусственные схемы, которые нам казались столь бесплодными.

Но пока здание молодой геохимии только строится: много вопросов поднято и мало на них ответов».

Так складывались наши представления, скажем вернее наши научные мечты, когда тридцать лет тому назад, в старом здании Московского университета вокруг профессора В. И. Вернадского зажегся огонь новых исканий, полных веры в науку и жизнь.

И в стенах минералогического кабинета и в низких комнатах соседнего помещения нашего Общества загорались новые вехи новой науки и, вдохновляемые творческими порывами Владимира Ивановича, рождались и новые научные течения и новые люди и новые пути смелых исканий.

II. УСПЕХИ ТОЧНОГО ЗНАНИЯ В XX ВЕКЕ

Прошло тридцать лет и снова приходится пересматривать эти пути и снова, в свете новых идей, открываются новые, еще гораздо более необъятные горизонты, и еще могучее и мощнее представляется нам современная наука в наши дни, сделавшая за эти четверть века гигантский шаг вперед.

Что принципиально нового вошло в наше мирозерцание в эти годы, годы критического пересмотра старых позиций физики и химии, революционной ломки представлений, унаследованных частью еще от науки XVIII века, победы четкого и ясного материалистического мировоззрения?

Атом, сложно построенная электромагнитная система, сделался основой мира!

Точное математическое выражение получило блестящие поэтические образы Лукреция, ожили философские обобщения малоазийских и греческих философов, победила гениальная фраза Гераклита Эфесского «все течет», все возникает в мире — из борьбы и столкновения противоположностей. И в новых представлениях о вечном движении электронов, атомов, молекул, в хаосе перекрещивающихся электромагнитных волн мирового эфира, ожили картины школы Пифагора, с их тишиной беззвучного мира, наполненного неосязаемой и неслышной гармонией движений и звуков.

Атом, как реально существующая единица реального мира, как выражение неразрывного единства вещества и энергии, инертной массы Ньютона и движения, атом был не толь-

ко разгадан в своем существе, но взвешен, измерен, изучен «весом и мерой».

Атом сделался единицей окружающего нас мира и вместо старых статистических законов равновесия, химическое соединение и кристалл получили новое освещение и новый смысл. Весь окружающий нас мир построен из атомов, расположенных по строгим законам прямолинейной геометрии: бесконечно непрерывные ряды точек, плоских сеток, решеток вязей, сложнейших фигур, строжайшей симметрии — определяют распределение атомов в пространстве, расстояния между точками этих решеток измеряются точнейшими методами в стомиллионных долях сантиметра, являясь формой равновесия, результатом борьбы сил отталкивания и притяжений. В сложных и постоянных поисках этого равновесия, связанного с наименьшими запасами энергии, протекает все течение природных процессов.

Прекрасный кристалл горного хрусталя — «этой игрушки природы» по словам Аристотеля, сделался эмблемой высшего порядка гармонии мира, эмблемой устойчивости, постоянства и прочности этой новой формы вещества, свойственной более холодным частям мироздания.

Наравне с этими двумя победами современной науки о реальности атома и гармонии кристалла — ожили и окрепли представления об единстве вещества в природе, ожили старые схемы Праута — 1815 г. об единстве всех химических элементов в природе; гениальный закон Менделеева из простой закономерности порядка сделался одним из величайших законов мироздания. Подчинив все 92 типа природных атомов единой системе строения, он установил качественные, количественные и генетические связи между всеми элементами природы.

Как всегда бывает в истории науки, одновременно с победой атома, как реально существующей основы реального мира, росли и множились факты о его гибели, разрушении, распаде и расколе. Постоянство и прочность атома одновременно решались методами его разрушения и наравне с вековыми законами природных превращений атомов — в могучих циклотронах технический гений человека овладел методами разрушения и превращения атомных построек в новые формы; старые полуфилософские идеи алхимиков превратились в реальность наших дней. Подчиняя своей воле самовещество, человек подходит уже к победе над скованной в атоме энергии, приближается к овладению грандиозными силами, в миллионы раз большими, чем те, которые заложены в простых химических реакциях горения угля!

И наравне с этими достижениями теоретической мысли огромные успехи сделали методы исследования природы, рас-

ширившие рамки ее познания и открывшие новые горизонты мира.

Одна из важнейших и точнейших координат природы, время — не только слилось в единое понятие с пространством, являясь неотъемлемой частью познаваемой материи, но само время, как некоторое число в уравнениях природы, впервые стало частью наших химических представлений и впервые в истории понимания вещества, как неизменные единицы мирозданий, в новых химических справочниках мы стали читать цифры времени жизни отдельных элементов природы: 44 минуты, 1 год, четверть секунды, миллиард лет и т. д. Нашим уравнениям сделались доступны величины времени от 10^{-12} до 10^{-19} сек. т. е. от тысячи миллиардных долей секунды до многих сотен миллиардов лет и хотя интервал измеряемых в эксперименте отрезка времени значительно уже, все же в общем понимании мира мы получили новую грандиозную координату, смысл которой был раскрыт Эйнштейном в его философских построениях, но реальное значение которой мы только начинаем понимать в явлениях радиоактивности.

Новые методы измерения количества пришли на смену старым весам. Новый химик новыми физическими приемами может не столько взвешивать, сколько реально наблюдать и фотографировать даже отдельные атомы. И на смену старым представлениям о неравномерном распространении вещества в природе — пришли новые идеи. Всюду во всем мире рассеяны все элементы, в каждом куске камня новые точные методы найдут все химические элементы Менделеевской системы; чем более уточнятся методы химического анализа, тем грандиознее раскрывается картина рассеяния каждого элемента в мироздании, начиная с одного случайно затерянного атома в каждом кубометре межзвездных пространств и кончая кристаллом, в одном кубическом сантиметре которого накоплено 10^{24} и больше атомов.

Если лучшие старые аналитические весы могли взвешивать не менее 10^{18} атомов или молекул, то весы Нернста повысили чувствительность в 100 раз, весы Петерсона в миллион раз, методы подвесных конденсаторов обещают возможность взвешивать точнее в миллиарды раз, т. е. точными механизмами оценивать вес самой маленькой доступной взвешиванию величины, примерно в сотню миллионов атомов или молекул!!

Но гораздо точнее, чем аналитические весы, работает современный химик в качественной оценке вещества. Когда в своей лаборатории он определяет точнейшими микрореакциями осадки, то в сущности он говорит о величинах измеряемых в 10^{20} атомов или молекул; уже в точных капельных

¹ По данным Ферми (1940 г.) и акад. Фесенкова (1938 г.)

реакциях, замечательных реакциях паяльной трубки он увеличивает свою точность примерно в миллион раз, еще в сотню раз проникновеннее работает спектральный анализ, доводя свою чувствительность до тысячных долей миллионной грамма (т. е. 10^{-10} грамма в лучшем случае). Новые границы открываются в электронном микроскопе и ультрамикроскопе, достигают почти миллионных увеличений, сочетая ультрамикроскоп с флуоресценцией, удастся довести наблюдения над отдельными сотнями, или тысячами молекул и только спинстарископ в области радиоактивности доводит число наблюдаемых атомов и продуктов их распада до единицы!

Как успехи теоретической мысли расширяют понимание природы, так успехи эксперимента расширяют границы познания окружающего нас мира.

III. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПУТЕЙ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОХИМИИ

В свете этих идей нам должно быть понятно, что за истекшие четверть века в общей системе наук стали замечаться новые самостоятельные течения мысли, а на гранях различных дисциплин, в промежуточных областях, стали оформляться новые науки с новыми, методами исследования и новыми задачами. Не забудем, что в истории каждой науки, как и в истории человечества, бывают моменты, когда переоцениваются старые ценности, когда новые идеи мощной волной опрокидывают старые обветшалые формы.

Такие моменты нарастают в истории наук медленной работой новых поколений, но незаметно быстро совершается самый переход к новым путям научной мысли.

А между тем в самом характере нашего ума лежит стремление обособить, выделить отдельные пути научной мысли. Мы создаем с каждым годом новые отрасли научных дисциплин, делим природу все новыми и новыми перегорождками, так как нашей мысли чужды и мало доступны представления о тех переходах, которые незаметно, как нити паутины, связывают все проявления физической, химической и психической жизни.

Науки специализируются: от одного и того же ствола выходят в разные стороны, как пучок линии из одной точки, отдельные пути научной мысли. Но эти линии расходятся все дальше и дальше, так и мысль научных дисциплин все более и более обособляется, замыкается, теряет связь с пограничными областями.

Но наступает момент, когда на границе двух путей создаются новые течения, стремящиеся связать две области разнородной мысли, вырабатывающие свои новые методы для дальнейшей научной работы.

Так, на наших глазах выросла кристаллохимия, воплотившаяся в конкретные законы связь между химическими соединениями, распределением его атомов в пространстве и выявляемыми ими свойствами; и сейчас, почти через 100 лет, осуществляется то гениальное предвидение, о котором говорил Менделеев в своей юношеской работе 1855 года.

Так вырастают за последние годы новые дисциплины: химическая физика, физика атомного ядра, волновая и квантовая механика, радиология, геохимия.

Атом и законы его строения, свойств и поведения легли в основу этих новых течений, которые не только обогатили наши представления, не только блестяще доказали правильность гениального предвидения Фридриха Энгельса, но и дали ряд ценнейших практических выводов, внося новые методы и новые идеи в геологию и астрономию, биологию и медицину, прикладную физику и химическую промышленность.

Среди этих дисциплин химического и физического характера наметилось одно новое научное течение, которое еще 100 лет назад в трудах швейцарского химика Шенбейна получило наименование геохимии и на котором я хочу несколько сосредоточить внимание.

Геохимия родилась из недр геологии, минералогии, учения о полезных ископаемых, восприняв достижения современной физики и химии: она объединила нечеткие течения геохимической мысли, которые вырастали из потребности металлургии и горного дела и маячили еще с конца XVIII века; но только науке XX века удалось слить эти искания в единое научное течение и ныне, трудами по преимуществу советских, норвежских и американских исследований, создать самостоятельную научную дисциплину, имеющую целью изучения атома и его судеб в конкретных условиях пространства и времени, 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; нет! она изучает судьбы самого атома, прежде всего в условиях доступных точному эксперименту земной коры, она изучает его поведение, процессы перемещений, миграций, сочетания, рассеяния и концентраций и при этом — всю длинную и сложную историю каждого элемента Менделеевской таблицы, она призвана не только очертить и выявить, но и связать со свойствами своего атома, от которых и зависят его жизненные судьбы.

И в этой научной концепции геохимия за последние четверть века подошла к постановке ряда кардинальных проблем, и многочисленные новые пути открываются сейчас перед геохимической мыслью.

Но мы знаем, что различными могут быть эти пути, особенно для молодой науки XX века, ищущей новых горизонтов, бурно, подчас с молодым задором, идущей вперед не без ошибок и заблуждений.

Ведь такими путями могут быть и широкие, прямые, как стрела, автострады, теряющиеся в туманной дали горизонта; могут быть и узкие тропы пустынных караванов, сотнями лет выбивающие узенькую полоску в красных пустынных такырах, могут быть и извилистые оленьи тропы, обрывающиеся у ручья или теряющиеся в болотистой низине.

Разнообразны и сложны пути новой геохимической мысли в наши дни, и мы сможем наметить лишь некоторые из них, особенно те, начало которым было положено в нашей стране, которые отразили все черты ее беспредельных пространств, ее грандиозных природных богатств, ее смелых творческих исканий — всех специфических черт нашей природы и нашего человека.

Несколько отрывочным будет мое изложение, но тем резче и ярче выяснятся отдельные пути современной советской геохимии.

1. Кларки, как показатели относительного количества элементов и устойчивости атомов

Мы начнем с первой проблемы, значение которой подчеркивал еще знаменитый английский физик Резерфорд в своей речи 1936 г., когда он говорил, что среди всех больших проблем, которые стоят перед наукой, можно выделить две кардинального значения: проблему строения атомного ядра и проблему количества атомов каждого элемента в мироздании.

Что может быть в сущности одновременно и проще и сложнее, чем проблема относительного количества отдельных химических элементов, из которых построен весь доступный нашему исследованию мир? Ведь мы сами в нашей обыденной жизни прекрасно знаем, как велико это различие, как обычны в окружающей нас природе, например, атомы железа, кальция или натрия, как редки и потому ценны атомы золота или платины. И как мало мы знаем о других, сверхредких элементах природы, как, например, галлий, германий или индий!

Сейчас, после долгой полувековой работы, геохимия овладела новым числом — новой константой мира. Долго к ней относились скептически и химики, и геологи, и геофизики и только сейчас мы начинаем понимать, что число, определяющее относительное количество какого-либо элемента в космосе, есть величайшая константа, которая зависит от устойчивости его постройки на сложных путях космической истории. В честь американского химика-геолога Ф. Кларка мы называем это число кларком. В законах кларков кроются еще огромные

области познания мира и еще огромная исследовательская работа должна вестись, чтобы уточнить эти величины и показать, каковы кларки в разных областях мироздания, насколько больше одних элементов в природе, чем других, а между тем мы знаем, что количество одних атомов в 10^{13} , т. е. почти в миллионы миллиардов раз больше, чем других, что общее количество элементов зависит от строения атома, от энергетической устойчивости ядра, от его большей или меньшей способности к радиоактивному распаду, от наличия того энергетического барьера, который в условиях земной коры, при низких температурах и малых электромагнитных полях определяет собой величину кларка в мироздании.

Но чем больше раскрывается эта новая страница в химическом понимании мира, тем больше выясняется, что даже в условиях земной коры кларк есть функция времени и места, что величины кларков меняются в зависимости от условий, в которых поставлен атом, что перед геохимиком стоит задача определить величины кларков в разных частях мироздания. Они будут одни для солнечных атмосфер, они довольно резко меняются в разных типах звездных миров, они резко различны в отдельных частях земной коры, где в ходе длительных процессов химических преобразований элементы перераспределяются и мигрируют не согласно законам устойчивости ядер, а подчиняясь тем электронным облакам, которые их окружают и от которых зависит все разнообразие, и вся сложность, и вся красота окружающего нас мира Менделеевского закона.

Меняются кларки в ходе отдельных природных процессов, можно говорить о кларках концентрации даже в самой промышленности, где после долгих процессов обогащения и металлургического разделения кларк данного элемента достигает ста, как предельной величины тех сложных процессов миграции, которые испытывает данный атом в разных частях природы. Точное изучение кларка в конкретных условиях земной коры и космоса сделалось одной из важнейших задач геохимии и мы можем с удовлетворением сказать, что в этом направлении трудами советских геохимиков проделана грандиозная исследовательская работа и что для целого ряда химических элементов как ртуть, селена, теллура, индия, циркония и ниобия мы получили новые точные величины для земной коры.

2. Миграция химических элементов и их поведение

Вопросы кларков, определяющие соотношения химических элементов в отдельных частях мироздания, приводят нас ко второму, важнейшему понятию в геохимии, миграции химических элементов к его поведению. Эти представления о поведении химического элемента в различных частях природы сдела-

лишь возможными только после того, как шаг за шагом стала вырисовываться история каждого элемента на сложных путях космических и геологических судеб. Задачей геохимии в настоящее время является как раз проблема выявления судьбы каждого химического элемента, его странствования в разных частях мироздания, его сочетания друг с другом, его совместных путей с одними элементами, его расхождения с другими. Геохимия новым точным языком пересказывает старые представления алхимиков и горных деятелей средних веков, когда они говорили о взаимной ненависти отдельных металлов, чуждающихся друг друга, как фосфор или золото, говорили о нежной любви их, когда упоминали о кобальте и никеле, о золоте и мышьяке.

Вопросы миграции химических элементов выдвинули два других основных геохимических понятия — рассеивание и концентрацию. Одни элементы оказались вечноблуждающими, вечными странниками в нашем мире, их соединения летучи, растворимы, подвижны, неустойчивы, они проникают, пронизывая своими атомами всю материю и подобно ртути и иоду мы открываем ничтожнейшие количества (миллионные доли процента) в чистейших кристаллах горного хрусталя, исландского шпата или барита. Эти рассеянные элементы с их нечетной неустойчивой постройкой электронных оболочек вечно ищут новых равновесий, накапливаясь в подвижных системах мирового океана, в текучих водах земной поверхности, в самой атмосфере. И в противоположность им намечаются другие вещества — другие элементы Менделеевской системы, они устойчивы, четны в своем построении, четны и симметричны в кристаллических решетках своих соединений, они дают сочетания малоподвижные, устойчивые, нерастворимые, тугоплавкие. Это — другой мир, быстро находящий свое равновесие, раньше других находящий прочные формы кристалла в длительных процессах распределения атомов в охлаждающихся очагах магм.

3. Радиология и геохимия изотопов

И на этих путях миграции химических элементов совершенно новые горизонты открываются в явлениях радиоактивности атом, в сложных путях своего странствования, не только не сохраняет свою структуру, но и испытывает ряд постепенных превращений, подчиняясь великим законам радиоактивного распада. Целая область в геохимии рождается при анализе процессов разрушения атомных построек. Академик В. И. Вернадский назвал ее радиогеслогией, ибо по своей широте и знанию она глубоко внедряется во все геологическое мировоззрение, лежит в основе термических процессов земли, определяет собою один из важнейших видов энергии космоса.

Мы не будем останавливаться долго на этих явлениях, мы только должны отметить, что сейчас нарождается новая еще область геохимической мысли — геохимия отдельных изотопов. Постоянство атомного типа поколеблено новейшими исследованиями, изотопический состав атомов меняется во времени и пространстве и новые точные анализы раскрывают нам ряд отклонений от принятых средних величин для водорода и кислорода, для калия и кальция, для рубидия и стронция и для свинца.

Если для большинства таких систем колебания изотопического состава не превышают 3—5%, то для некоторых из них как, например, для стронция с атомным весом 87, для свинца ториевого или уранового мы знаем скопления отдельных почти чистых изотопов.

Прошло то время, когда химия и физика не верили в возможность разделения и технического выделения отдельных чистых изотопов, но техническая мысль человека победила это предубеждение: в методах фракционированного электролиза, в длинных трубках путем термодиффузии отделяются различные изотопы друг от друга и новые атомы, новыми свойствами проявляются в руках человека, не знавшего этих веществ в окружающей его земле. Но разве в других термодинамических обстановках космоса, в сложных путях миграции космических туманностей и межзвездного пространства мы не можем заподозрить, что идут такие же тонкие, медленные и постепенные процессы разделения изотопов, кто может поручиться, что и в самой нашей земле откроются такие условия, которые не хуже и грубее человеческой техники делят эти изотопы друг от друга? Как будто бы живая клетка является одним из этих своеобразных деятелей, делящих смеси отдельных видов атома, как будто бы в организме его болезненные процессы иногда связаны как раз с преимущественным накоплением одних изотопов в ущерб другим, как это наметилось в накоплении изотопа калия 39 в клетках, пораженных саркомой.

Все это вопросы, на которые даст ответ только будущее¹.

¹ Несколько конкретных примеров:

Для изотопов углерода $C^{12} : C^{13}$ известно некоторое преобладание последнего в известняках. В атмосфере звезд акад. Шанн (1940) открыл большое разнообразие соотношений между этими изотопами, достигающее даже 1 : 1 в противоположность нормальным земным соотношениям $C^{12} : C^{13}$ 70 : 1.

Для Sr^{87} в лепидолитах Манитобы в Канаде количество этого редкого изотопа доходит до 99%, что могло накопиться только в 2.10^{11} лет.

Очевидно, что в природе идет постепенное накопление изотопов Ca^{40} , Sr^{87} , In^{115} и др.

Всякий длительный процесс физикохимического разделения изотопов ведет к накоплению в менее подвижных фазах четких, более устойчивых или более тяжелых изотопов, например, H^2 (дейтерия), O^{18} (тяжелого кислорода), K^{41} и т. д.

4. Абсолютный возраст геологических явлений

И вот эта область радиоактивных процессов, неустойчивости клеток Менделеевской системы открыла перед наукой новые методы измерения времени. И на смену грубым часам, наподобие старых песочных часов, пришли новые точные измерители абсолютного времени. И вся история нашей земли получила в распадающихся атомах новый величайший метод для понимания прошлых судеб. Эти методы множатся с каждым днем. Если еще недавно измерение геологического времени основывалось только на изучении соотношений урана и тория со свинцом и гелием, то теперь роль часов начинают играть отдельные изотопы и атомы актиния, калия, кальция, рубидия, стронция, кислорода и других.

Уже астрофизический возраст нашей земли как планеты определяется по актинию в 3000—4000 миллионов лет. Ему примерно отвечает максимальный возраст залетающих на нашу землю, еще непознанных космических тел, метеоритов. На поверхности нашей земли точные методы измерения абсолютного времени отмечают уже самые старые образования древнейшей земной коры, и на берегах Белого моря и полярной Канады уже намечаются эти самые старые отложения геологической истории, измеряемые больше, чем 1600 млн. лет.

На смену лишь относительным числам возраста, дававшимися успехами геологических наук, приходят точные определения хронологии отдельных, наиболее важных моментов в истории прошлого земли. Уже дают советские радиологи точную цифру возраста Хибинского массива, вздымающегося среди кольских низин — около 300 млн. лет.

Уже вырисовывается хронология тех мощных процессов, которые протекали в древние кристаллические породы древнейшей земли, вынося с собой богатства апатитовых руд, железа и редких металлов. Уже намечается картина того грандиозного пояса, который окаймлял набегавшие с севера каменные волны, застывшие в виде Скандинавских гор, ровесников первых бурных процессов, еще только намечавшихся тогда Уральских цепей.

И когда эти новые методы измерения времени разгадают нам точную хронологию Кавказского хребта, мы сумеем сыскать в его недрах и олово и золото древних гранитов, мышьяк и сурьму среди молодых извержений его магм!

Пусть еще много спорного в этих подсчетах, пусть еще неточны эти часы, пусть беспомощен еще этот метод, когда надо измерять отрезки времени последних этапов геологических историй, измеряемых лишь сотнями тысяч или миллионами лет. Но значение этой новой методики выходит за рамки простых проблем хронологии. В блестящем докладе академика

В. И. Вернадского на Международном геологическом конгрессе в Москве развернулась грандиозная картина того нового понимания мира, в котором время и пространство являются одной из важнейших координат природы.

Так, на наших глазах, из точных геохимических данных рождается новая хронология мира, а мы знаем, что без хронологии нет истории, как без истории нет истинной науки.

5. Эволюция геохимических процессов

И в тесной связи с проблемой времени намечается коренной пересмотр установившихся в геологии взглядов на вековечный, повторяющийся ход процессов в земной коре.

Принцип актуализма, выдвинутый авторитетом Чарля Лайеля, до последнего времени зачаровывал наши представления. Все в мире повторяется, в постоянной смене событий явления замыкаются в замкнутые циклы. И в долгие эпохи двух миллиардов лет одни и те же химические процессы властвуют над миром!

Нет! Сейчас мы не можем просто применять идеи великого английского геолога. Нет, подобно усложняющейся эволюции живого вещества, во всей сложности законов геологического развития организма шла и идет вокруг нас, в определенном направлении, перегруппировка мертвой материи. Атомы земной коры неизменно перемещаются, ища новых равновесий, подчиняясь все тем же законам, управляющим миром. Все атомы четны, устойчивы, дают легко прочные соединения. А другие — атомы нечетные, мигрирующие, накапливаются, и вновь странствуют, перемещаются в поверхностных пленках земной коры.

В построениях молодых советских ученых Н. М. Страхова и Л. В. Пустовалова и некоторых зарубежных исследователей (как Гюммеля) рисуются нам новые картины постепенно меняющейся геохимии в ходе геологической истории. Так, в древнейшие архейские времена накапливались по краям глубоких синклиналий грандиозные скопления железных руд и длинные полосы этих скоплений образовывали грандиозные месторождения в полярной Норвегии, на Кольском полуострове, они скрываются под поверхностью великой Русской равнины, раскрываются в глубинах Курской аномалии, выходят на поверхность в месторождениях Кривого Рога.

Во всю дальнейшую геологическую историю не повторялся больше этот процесс, чистые прекрасные руды архея постепенно сменялись осадками прибрежных частей вдоль размываемых хребтов, а затем все реже и реже перемещались на более устойчивые платформы, накапливаясь в болотных и озерных низинах мелких морей. Такие же картины своеобразной, но направленной геохимической эволюции рисуют нам

процессы миграции магния и кальция, углерода и кремния: одни элементы их соединения враждебны времени, мы их называем хроноксенами; это элементы сегодняшнего и завтрашнего дня; другие мы должны назвать хронофилами: они не боятся времени и постепенно накапливаются в устойчивых соединениях земной поверхности.

6. Геоэнергетика

Но что же в основном направляет все эти сложные пути миграции атомов, что определяет их рассеивание и концентрацию, где те великие законы, подобные законам Гиббса, которые сумеют разгадать их течение?

Мы подходим здесь к одному из кардинальнейших вопросов и проблем современной геохимии, больше того, мы подходим к новому мировоззрению, которое приходит на смену старым, несколько формальным законам физической химии. Мы говорим о новом толковании природы в целом и протекающим в ней процессам. Эту проблему заострил во всей глубине ее философского значения академик Вернадский еще 20 лет назад, когда он подчеркивал, что мы не знаем энергетического баланса природы. С тех пор блестящие достижения геохимии приближают нас к новому этапу в анализе окружающего нас мира. Долгое время линейка с делением сотых долей ангстрема, т.е. миллионными долями сантиметра является основным масштабом кристаллохимии для понимания законов образования химических соединений. И совершенно независимо от нее второй меркою природных процессов служил термометр, который строил здание термохимии, как совершенно независимое архитектурное сооружение, не имеющее общего ни с шариками атомов, ни с геометрией их сочетания.

Сейчас настало время объединить эти два масштаба, используя третью меру — вольтметр, как электрический счетчик. Он должен связать воедино обе эти постройки и дать новую, которая свяжет радиус иона с калорией, деформацию шарика — атома с электронвольтами, возникающих электрических полей, чисто геометрические ряды этих шариков в кристалле — с законами волновых колебаний электромагнитных частиц.

За истекшие 20 лет была сделана попытка дать количественную характеристику геохимическим процессам и энергии решетки, раскрытой Борном, Паулингом, А. Ф. Капустинским и А. Е. Ферсманом в Союзе, отыскать этот новый счетчик для количественного измерения природных процессов.

Мы представляем сейчас нашу землю как некоторого рода электростатическую систему, в которой заряженные частицы располагаются концентрирами все меньших и меньших запасов энергии.

Вся последовательность природных процессов, порядок осаждения металлов в жилах, порядок выпадения солей в умирающих озерах — все зависит от величины свободной энергии, которая выделяется при процессе образования кристаллов. Великие законы термодинамики, энергетические законы русского академика Гесса, законы Лешателье и Оствальда определяют ход этих процессов и сейчас мы уже можем говорить о законах геоэнергетики.

Так переходит на наших глазах геохимия на новый этап точного измерения природных явлений, и энергетика внедряет смелую геохимическую мысль в самые разнообразные области знания, начиная с химии живого вещества, кончая горным делом и путями промышленности.

7. Идеи биогеохимии. Геохимические провинции

Но оставим эти теоретические пути современной геохимии и попытаемся рассмотреть эти новые области знания, в которые геохимическая мысль вносит свои революционные подходы. Я начну с области тех явлений, которые вызываются и регулируются законами живого вещества, законами жизни и смерти. Целая самостоятельная область геохимической работы — биогеохимия во всей глубине впервые выдвинута была у нас в Союзе и выдающиеся исследования академика В. И. Вернадского и его школы с А. П. Виноградовым во главе позволили проанализировать с новых точек зрения живое вещество как особую форму материи.

Не несколько отдельных биогенных элементов строят живую клетку, нет, выше 60 химических элементов Менделеевской таблицы слагают живое вещество, необычайно чутко следуя основным законам распространения элементов в почве, воде океанов и в земной коре. В мертвых скелетных частях образуются устойчивые кристаллические решетки, нерастворимые, механически, термически, элетростатически наиболее прочные. Они строятся по преимуществу легкими четными элементами больших энергетических показателей, малой подвижности, большой устойчивости в ходе мировых процессов. А наравне с ними в самом живом веществе, в этой гибкой системе, столь тонко реагирующей на ничтожные изменения окружающих условий, накапливаются элементы нечетные, подвижные, способные к постоянной перемене своих соединений, постоянно ищущие новых равновесий.

Живая клетка исторически создается в долгих процессах эволюции живого вещества, она в историческом процессе привыкает к данной среде, к очень узким пределам ее химического состава. И целый цикл новых работ огромного практического значения говорит нам о том, как тесно связана клетка и ход

жизненных процессов с самой средой. В дополнение к старым классическим удобрениям фосфором, азотом и калием приходит целая новая область агрохимии, строящая успехи урожая на внесении микроэлементов, ничтожных количеств бора, меди, цинка, марганца и кобальта. Блестящие работы А. П. Виноградова, академика Д. Н. Прянишникова, М. Я. Школьника, Е. В. Бобко показали, что изменение миллионных долей процентов ведет к коренному изменению жизненного процесса, или стимулируя его рост или убивая его. Из этих замечательных идей будущей агрохимии, где сплетаются вопросы геохимии с проблемами исторического развития клетки и роли отдельных стадий ее роста, создаются новые понятия о биогеохимических провинциях, которые являются основой или тяжелых заболеваний—эндемий или, наоборот, создают пышный расцвет живого вещества. Эти биогеохимические провинции занимают определенные ареалы от величины небольшого пятна до тысячи гектаров, они захватывают своим влиянием и растительный покров, и животное население, и здоровье самого человека. Геохимическое распределение в природе иода и брома, фтора и бора, меди и селена, молибдена и никеля, кобальта и железа представляет глубочайший практический интерес не только в области сельского хозяйства, но и в глубоком понимании процессов развития жизни на земле.

И прав был академик В. И. Вернадский, когда юн еще в 1922 г. писал: «Связи состава организма с химией земной коры и то огромное первенствующее значение, которое имеет живое вещество в механизме земной коры, указывают нам, что загадка жизни не может быть получена только путем изучения самого живого организма. Для ее разрешения надо обратиться к первоисточнику — земной коре.»

8. Геохимия и горное дело. Региональная геохимия

Но еще гораздо глубже проникает геохимическая мысль в область горного дела, в то учение полезных ископаемых, в те проблемы минерального сырья, из которых геохимия родилась еще в далекие средние века в блестящих построениях горных пород Агриколы. Мы не можем сколько-нибудь подробно останавливаться на этой области и только напомним несколько отдельных фактов, которые показывают, как велико практическое значение тех законов распределения атомов в земной коре, которые легли в основу классических мемуаров норвежца Гольдшмита. Еще недавно было время, когда массы значков полезных ископаемых лежали в беспорядке на пестром ковре нашей геологической карты. Казалось, не было никаких строгих законов, которые рассеивали бы эти значки по полям разного цвета: одни из них накапливались вместе в горных

районах, другие заполняли поля бывших морей и материков. Сейчас мы знаем, что распределение этих точек подчиняется глубочайшим законам геохимии. Их распределение есть результат тех сложных путей миграции атомов, о которых мы говорили, есть результат химических реакций, определенных химических веществ в определенной химической и физической обстановке. Так постепенно начинает создаваться новый отдел современной геохимии — геохимия региональная.

Она не просто фиксирует поведение элементов в определенных участках земной коры. Нет, она связывает их с геологической обстановкой, со всей геологической историей, с прошлыми судьбами тектоники, развитием жизни, палеогеографией.

Только сочетая достижения исторической геологии, новой тектонической мысли с законами поведения элементов, мы начинаем понимать распределение полезных ископаемых то в грандиозных поясах, тянущихся на тысячи километров, то в целых геохимических полях на пространстве миллионов квадратных километров. Только в свете этого нового синтеза, связывающего неразрывными узами геохимию и геологию, рождается прогноз — предсказание, высшая форма научной мысли, которая из настоящего разгадывает будущее, на основе известного намечает то неведомое, что сделается уделом человечества через сотни лет. И именно в этом новом течении, еще очень молодом и малоразработанном, выражается с особой резкостью диалектический характер геохимии, по существу на деле, на фактах рождается та связь теории и практики, которая лежит в основе каждой истинной науки.

Накопление элементов в отдельных частях земной коры приводит к образованию тех концентраций, которые мы называем, в случае их экономической ценности, практическими месторождениями. Геохимия предсказывает и сочетание в этом месторождении отдельных химических веществ, она подсказывает пути технологии и методов обогащения, она толкает мысль химика, технолога, обогатителя на новые пути переработки и овладения веществом.

Здесь, на путях современной химической промышленности и металлургии, геохимия и кристаллохимия на каждом шагу подсказывают и раскрывают новые пути. Теоретически намечают те сверхтвердые сплавы, которые приходят на смену алмазу, предсказывают распределение отдельных элементов в доменном процессе, говорят нам о том, как легче разрушить кристаллическую постройку, чтобы подчинить ее промышленному процессу.

И на этом пути внедрения геохимии в горное дело и металлургию особое значение принадлежит Менделеевскому периодическому закону: таблица Менделеева не есть просто схема, которая привела в порядок химические элементы и дала не-

которые руководящие идеи для химиков! Нет, это мировое откровение, которое можно сравнить с учением Дарвина о происхождении видов, которое внесло внутренний генетический и энергетический порядок в понимание вещества, которое дало геохимическую основу для выявления распределения элементов в пространстве и во времени в нашей природе. Это один из самых блестящих методов для работы геолого-разведчиков! Это метод использования химических законов, глубочайших законов энергетики, законов химии и геохимии для того, чтобы на основании этих законов искать взаимоотношения, расположения отдельных химических веществ, подтягивать отдельные химические элементы, искать определенные вещества в определенных направлениях, в определенных сочетаниях друг с другом.

И, если лет 30 тому назад, Ф. Содди говорил о том, что периодический закон Менделеева является истинным компасом для всякого химика, то мы должны сейчас прямо сказать, что он является компасом и для геолого-разведчика, и для металлурга, и технолога, является основой, на которой мы должны продумывать окружающую нас природу и тогда этот закон приведет нас к величайшим практическим открытиям!

9. Геохимическая роль промышленности и хозяйства

Так, от проблем практической геохимии мы переходим к технической деятельности человека. По своему масштабу она уже сделалась сравнимой с процессами самой природы: человек геохимически переделывает мир во все растущих темпах, извлекая из земли колоссальное количество отдельных химических веществ, стремясь, наперекор законам энергетического равновесия, выплавить в условиях земной поверхности чистый металл, с гораздо большими запасами энергии, чем более устойчивые его природные соединения, борясь против законов энтропии природы, сохраняя, защищая и покрывая железо от неизбежного хода природного процесса. В этой борьбе человека с законами природы, в его успехах металлургии и химии, в создании новых устойчивых равновесий твердых сплавов, в механической защите железа оловом, цинком, хромом, никелем, фосфатами, органическими красками он открывает новые пути, создавая свои высокоэнергетические системы, он их использует в новом направлении, в новых подходах к промышленности и хозяйству.

В идеях Анри и Джинса, как бы ни спорны были их философские построения, человек продолжает победный путь над энтропией вселенной, и черный металл — основа его промышленности — железо — этот замечательный элемент, сочетающий устойчивость ядра с подвижностью строения наружных

оболочек электронов, превращается в его руках в мощный рычаг борьбы с природой, борьбы с обесценением его материи, с рассеиванием ее энергии, в рычаг борьбы за подчинение воли и мысли той единице космоса, неразрывно слагающейся из вещества и энергии, которую мы называем атомом.

10. Химия космоса

Наконец, последний, самый дальний путь современной геохимии.

• Поставив ряд кардинальных вопросов, наметив на конкретных земных оболочках ряд теоретических и практических выводов, геохимия невольно перенесла свои искания и за пределы непосредственно познаваемого мира, и острые проблемы химии центральных частей нашей планеты стали связываться с новыми задачами астрофизики — химического понимания и химического толкования космических процессов.

Различная устойчивость атомных построек и их сочетание, кларк, как показатель их относительного числа, различие в степенях ионизации, громадных интервалов температуры давлений, новые ядерные реакции, как обоснование новой «химии» сверхвысоких температур, медленное вековечное превращение, бурное разрушение атомов, сменяемое их образованием, — все это постепенно стало приводить к толкованию его процессов, к пониманию космических судеб вещества, далеких от тоненькой пленки нашей земной коры.

И, изучив в геохимии историю отдельных атомов и их поведение, мы начинаем, правда, еще не смело, подходить к общей химической концепции мира, хотя еще многих звеньев не достает в этой бесконечной цепи явлений, вечно сплетающихся и расплетающихся в смене галактик, в пространстве световых годов, в условиях мощных электромагнитных полей.

В глубинах звезд, при температурах в 40—50 млн. градусов, при давлениях в 10^{28} атмосфер на 1 см^3 мы встречаем первые системы химических элементов; мы почти не знаем их природы, они лишены наружных электронных оболочек, лишены почти всякой химической индивидуальности! Разрушение тяжелых атомов сопровождается их созиданием. Легкие, неустойчивые системы разлагаются мощными излучениями материальных частиц. Идет дифференциация веществ по стойкости ядра.

Поверхность звезд космических систем. Дифференциация газов в условиях температур порядка десятка тысяч градусов и пониженных давлений, доходящих до сверхрассеянного состояния. Атомы в значительной степени еще раздеты, еще лишены своих наружных валентных оболочек, все еще не приобрели своих специфических химических черт. Законы

Лапласа, а не Менделеева направляют процессы миграции; давления лучистой энергии перемещает их в мировых галактиках.

Охлаждающиеся космические тела типа солнца и холодных звезд с температурами поверхности в 5—8 тысяч градусов и красные звезды с температурой их атмосфер, опускающейся до 1800°. Постепенно одеваются ядра наружными оболочками менделеевских электронных облаков. Начало химического процесса разделения элементов по типу строения, все усиливающееся влияние Менделеевского закона. Первое разделение на устойчивые четные постройку, и на дисперсное вещество межкосмических пространств.

Следующая космическая система — великий Менделеевский мир; начало кристаллизации, как новой энергетической формы равновесия. Накопление вещества по отдельным уровням энергии, зонарное строение планеты с более устойчивыми энергетическими системами глубин и с накоплением подвижных с большой внутренней энергией атомов на поверхности земли; их роль в создании жизни, творчества и техники. Закон Менделеева определяет направление этих процессов. Наружные электронные оболочки определяют все многообразие окружающей нас природы, ее красочность и сложность, ее все усложняющуюся эволюцию.

Так в анализе химических процессов космоса вырисовывается растущая роль закона Менделеева, в котором законы энергетики и уровни энергии управляют отдельными клетками, перемещая элементы и сочетания их во времени и пространстве!

Мы кончаем на этом наш обзор главнейших путей современной геохимии и можем перейти к некоторым выводам.

IV. СВЯЗЬ ГЕОХИМИИ С ДРУГИМИ НАУКАМИ.

• ГЕОХИМИЯ В СОЮЗЕ И ЕЕ БУДУЩЕЕ

Мы попытались выше нарисовать основные пути современной химии земли; мы пытались показать, как сложно в диалектическом переплете познания природы, как тесно сплетается геохимия с другими научными дисциплинами, как часто незаметно внедряется она в научную мысль, во все мирозерцание и химика, и геолога, астронома и даже биолога.

Одни течения геохимии связывают ее ближе с кристаллографией и физикой твердого тела, и глубочайшие достижения современной кристаллохимии с их новым энергетическим толкованием кристаллической постройки мы получили в работах норвежцев В. М. Гольдшмидта, И. Фохта и Захарьяссена, швейцарца П. Ниггли, американца Паулинга и англичан Брэггов; другие течения геохимической науки, связывающие ее особенно с современной химией и минералогией, получили

свое развитие в работах венгерца Г. Гевеши и германцев Г. Шнейдергена и супругов Ноддаков; но более широкое освещение и развитие проблем геохимии и биологии, в широком философском обобщении новых проблем естествознания — наметилось только в нашей советской стране, за последние четверть века.

Первый курс геохимии, впервые в истории этой науки, был прочитан мною в 1912 г. в Москве, в Народном университете имени Шанявского, в первом свободном рассаднике высшего образования дореволюционной эпохи; первые основы геохимии были блестяще намечены акад. В. И. Вернадским, начиная с 1924 г. в его «Очерках геохимии», многократно переведенных на иностранные языки. Первая сводка наших геохимических знаний была издана в Ленинграде — в 4-х томах, начиная с 1932 г., а два последних тома этой сводки ждут еще выхода из печати. Наконец, первые учебники по геохимии для высшей школы были изданы и переиздаются сейчас в нашем Союзе (В. В. Щербина, А. А. Сауков).

В Союзе геохимия получила свое широкое развитие, всюду стараясь следовать завету М. Ломоносова вносить в анализ окружающей природы «совет от математики, физики и химии».

Геохимия, признанная прежде всего устанавливать диалектические связи между отдельными явлениями природы, сможет найти, однако, правильные пути для своего дальнейшего развития только в том случае, если накопит новый материал фактов и сумеет обобщить грандиозное количество наблюдений новой обобщающей мыслью. Для дальнейшего развития геохимии нужна еще огромная экспериментальная работа, нужны еще тысячи тончайших анализов, которые раскрывали бы судьбы отдельных элементов в каждом клочке и уголке земной коры, в каждом растительном и животном виде, в каждом минерале и горной породе; нужны цифры рассеяния и концентраций всех элементов Менделеевской таблицы, нужны знания тех процессов, которые перемещают атомы в мировых пространствах, нужна оценка, и притом количественная, тех энергий, которые связаны с миграцией атома в сложнейших путях его космической истории.

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

Но держатся в воздухе и птица и самолет 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, держится огнем смелых исканий, связанных одновременно с холодным и трезвым анализом своих достижений.

Наука держится теми тесными связями, которые она умеет установить с соседними дисциплинами, умелым заимствованием чужих методов, продуманным внедрением своих завоеваний и своих методик в другие науки. И именно на первых путях своего развития каждая наука должна на широком опыте проверить свои победы и свои поражения.

Именно этой задачей, этой ответственной задачей наших дней отвечают те наши научные объединения, общества и академии, которые призваны не столько развивать отдельные отрасли знания, сколько взаимно увязывать отдельные достижения, освещать их единой диалектической мыслью. Напрасно думают некоторые, что в наше время специализации науки отжили свой век также объединения научных исследователей, задачами которых являются взаимное оплодотворение различных дисциплин и широкий перекрестный анализ отдельных научных течений.

Именно сейчас, сейчас нам особенно нужны такие рассадники творческой мысли, какими являются наше Московское общество испытателей природы, которое всегда являлось носителем идей свободы научного творчества, свободной коллективной научной мысли. Оно особенно нужно сейчас, когда дифференциация научной мысли разлучает по кабинетам, лабораториям, институтам, музеям ее исследователей, когда широко различается научная работа по нашей стране, когда растут и множатся отдельные научные учреждения, когда великие идеи Маркса и Энгельса единым мировоззрением пронизывают всю науку и жизнь в их неразрывном единстве!

Пусть же развивается и ширится влияние нашего Общества на молодое поколение, пусть крепнет его забота о передовых ростках научной мысли и пусть смело и свободно развивается знамя советской науки, как великой силы преобразующей и подчиняющей себе мир!

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА

(на русском языке)

- Вернадский В. И. Очерки геохимии. Изд. 4-е 1934.
- Вернадский В. И. О значении радиогеологии для современной геологии. Труды XVII Международного геологического конгресса т. I, 1939, стр. 215—239.
- Вернадский В. И. Биохимические очерки. 1922—1932. Изд. АН СССР, 1940.
- Виноградов А. П. Геохимия и биохимия. Успехи химии т. VI, 1938, стр. 645—686.
- Гольдшмидт В. М. Сборник статей по геохимии редких элементов. ГОНТИ 1938.
- Основные идеи геохимии. Сборник статей под ред. А. Е. Ферсмана т. I—III, 1933—1937.
- Сауков А. А. Курс геохимии. Литографированное издание Московского геолого-разведочного ин-та 1940.
- Ферсман А. Е. Геохимия т. I—IV, Хим. техн. изд., Л. 1932—1939.
- Ферсман А. Е. Достижения советской геохимии. В кн.: Математика и естествознание в СССР. Изд. АН СССР 1938, стр. 805—835.
- Ферсман А. Е. Периодический закон Менделеева в свете современной науки. Под знаменем марксизма № 1, 1941, стр. 137—160.
- Ферсман А. Е. К столетию геохимии. Советская наука 1941.
- Щербина В. В. Геохимия. Изд. АН СССР 1939.
-

The Chemistry of the Earth on the New Paths

A. E. Fersman

SUMMARY

The author recollects in his paper, that about thirty years ago he happened to deliver a report on the same subject to a meeting of the same Moscow Society.

The elapsed period of time allows to correlate those representations, which existed in the beginnings of the twentieth century and a new standpoint of exact knowledge which presently commands the geological sciences. This new standpoint arose first of all in the result of the victory of atomic representations. The real existence of atom, its inner nature and structure, its part in the structure of matter—all this in complete unity of matter and energy was not only found out but determined as well quantitatively by means of experiments.

The second decisive alteration in the scientific standpoint of naturalist was caused by the outstanding success of the methods of investigation, more accurate determinations of time, weight and space. The expansion of naturalist's range of knowledge resulted in inevitable separation of new sciences based on study of the behaviour of atom or of every separate element in different conditions and parts of the nature.

Thus, the behaviour of atom in its mutual combinations resulted in a new science—crystallochemistry and on the boundary between chemistry and physics we witness the origin of a new science—chemical physics. At the same time the behaviour of atom in different parts of the universe and in various conditions stimulated a new branch of science which was called geochemistry.

Contrary to other disciplines which investigate the fate and properties of molecules, geochemistry studies the fate of the very atom, its behaviour, the processes of transportation, migration, combination, dispersion and concentration in the earth's crust,—first of all in the conditions accessible for exact experiments.

During the elapsed quarter of a century this science reached a series of outstanding results and the task of this report is a brief exposition of the ten main directions of the contemporary geochemistry.

The first problem,—the importance of which was indicated already by Rutherford (1936), concerns the relative quantity of atoms of every element in the universe. After a long, almost half a century work, the investigators obtained for all the main chemical elements the values of their occurrence called „the clarks“ by the name of the initiator of this enormous interna-

tional work. These values must be presently considered as the new constants of the universe.

The clarks change in different conditions of the universe and the earth's crust; they change as well in the conditions of industrial activity of mankind which continues the chemical reactions of the earth. The accurate study of the clarks in the real conditions of the earth crust and the universe became one of chief problems of geochemistry and the Soviet geochemists made an enormous work to find out these values for a series of elements as mercury, selenium, tellurium, indium, zirconium and niobium.

The question of the determination of clarks brought the geochemists to the second most important problem of geochemistry—to the study of migration of chemical elements, their dispersion or concentration. The peculiar ways of migration were traced for every separate element in different parts of the earth crust and gradually for the whole Mendeleiev's table the investigations are planned, which will reveal somewhat like the history of the origin migration and fate of every kind of atoms in the universe.

In close connection with these two directions of the contemporary geochemistry the new ways were discovered for it in the phenomena of radioactivity. These new ways have been united by V. I Vernadsky in a new branch of science—radiogeology.

The problems of geochemistry put forth the importance to study the occurrence and concentration of separate isotops and contrary to the old opinions about the constancy of isotopic composition of matter the new most delicate problems concerning the geochemistry of separate isotopes of the earth's crust have been put forth.

This branch of the study of the radioactive processes has led to the problems of the absolute age of the geological past and the outstanding results of the Soviet investigators already resulted in the determination of the exact age of the most ancient earth crust on the shores of the White Sea and that of the younger outflows of magmas which broke their way and brought from the depth the useful deposits. And in proportion with the success of the study in such historical perspective both of the processes of life and development of the chemical reactions of the nature sharper and more definite emerged the regular development of geochemical processes of subsequent geological history changing gradually to new and new more stable balances.

Just this analysis brought the study of geochemical processes to an effort of a thorough analysis of them from the standpoint of the energy balance of the nature.

All the geochemists of the Soviet Union assume this geoenergetic standpoint and they succeeded to develop new methods allowing to measure the energetic properties possessed by natural formations and based on the energy of crystalline lattices.

Thus, geochemistry has closely bound its paths with the problems of another young science—crystallochemistry concerning the application of new

energetic coefficients, has allowed to read the part and meaning of the crystalline lattice which surrounds us in the earth's crust.

Together with the mentioned above new directions of geochemical thought penetrated into the domain of alive matter and a whole new science biogeochemistry revealed the rôle of separate chemical elements in the structure of alive cell.

On these path the scientists succeeded not only to prove the importance of separate chemical elements in the alive matter but to establish as well those sharp limits in which the life exists. Hence, very important ideas arose concerning the biogeochemical provinces, geochemical part in agrochemistry of those microelements which determine the ways of development of alive organism.

Thus, gradually the geochemistry from a domain of a theoretical science began to introduce its methods and conclusions into the practical life, the mining and investigation of useful deposits.

The distribution of separate elements and their deposits follows the fundamental laws of geochemistry. These laws are based on the representations of regional geochemistry, which does not simply states the occurrence of separate metals in the earth's crust, but connects them with the whole scope of geological conditions and history. This gave rise to theoretical methods of survey and prospecting of useful deposits, i. e. to scientific prognosis which is the aim of true science.

Penetrating in such a way into the study of properties of separate atoms in the earth's crust and their occurrence the chemistry applies its results and methods not only to the sciences of purely geological character but also to technology and metallurgy opening here some new pages and discovering new ways of taking possession of matter.

At last the tenth direction of contemporary geochemistry is connected not with the earth's crust but with the universe as a whole, with the problems of astrophysics and astrochemistry.

Along these ten routes the scientific work is developing in the Soviet country. It is based on the materialistic conception of the world and applies energetical analysis to all the natural processes.

The Soviet Union may be proud of the fact that during the last twenty five years it contributed outstanding results to the treasures of the world knowledge.

The first course of geochemistry, in general in the history of this science, was lectured in 1912, in Moscow. The first foundations of geochemistry were in a brilliant way established by V. I. Vernadsky since 1924 in his essays on geochemistry, the first symposium of our geochemical knowledge was published by the author in four volumes in Leningrad, and two last volumes are still waiting for their publication. The first manuals on geochemistry were published as well in our country.

The quantity of data obtained by accurate observations is so great, that the task to correlate them and to bind by theoretical thought lying before the Soviet geochemists and mineralogists, is really enormous.

To accomplish this task is, however, possible only by means of collective investigation on the basis of ideas of different sciences and with the help of methods used in physics and chemistry, soil science and radiology, crystallochemistry and astrophysics.

The further development of the Soviet geochemistry will depend on the progress in the working out of these facts and enlightening them with uniting dialectic thought.



СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

I. Введение. Геохимия и минералогия тридцать лет тому назад	3
II. Успехи точного знания в XX веке	4
III. Анализ основных путей современной геохимии	7
1. Кларки, как показатели относительного количества элементов и устойчивости атомов	9
2. Миграция химических элементов и их поведение	10
3. Радиология и геохимия изотопов	11
4. Абсолютный возраст геологических явлений	13
5. Эволюция геохимических процессов	14
6. Геоэнергетика	15
7. Идеи биогеохимии. Геохимические провинции	16
8. Геохимия и горное дело. Региональная геохимия	17
9. Геохимическая роль промышленности и хозяйства	19
10. Химия космоса	20
IV. Связь геохимии с другими науками. Геохимия в Союзе и ее будущее	21
Главнейшая литература	24
Резюме	25



Редактор М. И. Коган

Техред Г. М. Нейман

Л101700. 1,75 п. л. Уч.-изд. п. л. 2,0 Печат. знаков в листе 50,250
Подписано к печати 9.XI.1944 г. Тираж 2000 Заказ № 1106

Типография ГВИЗ МВО «Красный Воин». Всеволожский пер., 2.

Q

7559

065 21