

Валентин Оноприенко

МИНЕРАЛОГИЯ.
ЭККУРСЫ
В ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ



В основу всякой научной минералогической классификации должен быть положен химический состав минералов.

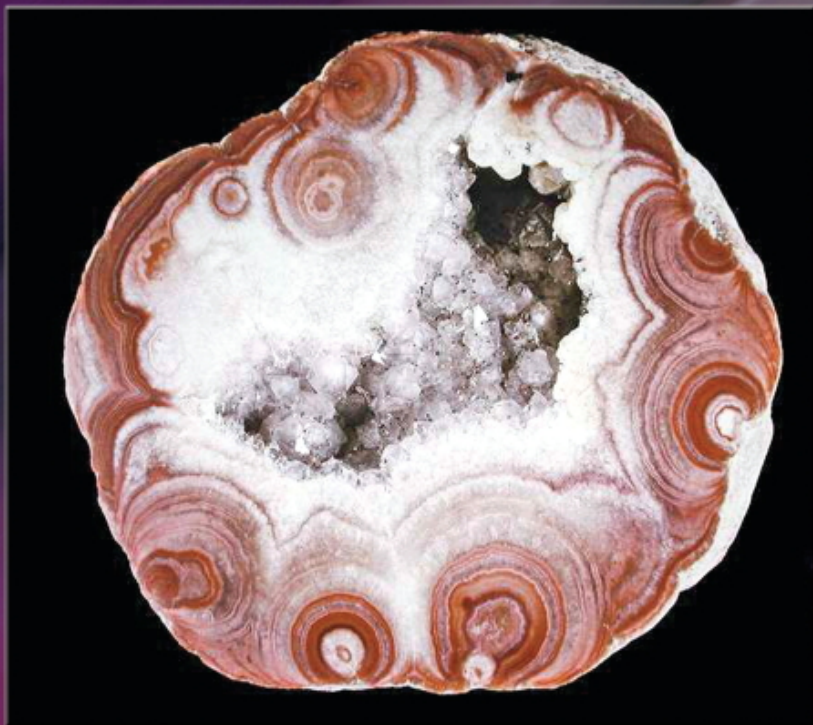
В.И.Вернадский

Я проходил мимо людей, меня называли часто сухим, бесчувственным. Годы шли, лучшие молодые годы, а люди оставались как-то вне моего жизненного пути... Камень владел мною, моими мыслями, желаниями, даже снами... Какая-то детская любовь к камню, красивому, чистенькому кристаллу...

А.Е.Ферсман

Для того чтобы дать правильное определение понятия минерального вида и понятий, с ним связанных, необходимо иметь глубокие теоретические познания в минералогии, быть хорошо осведомлённым в законах логики и правилах определения понятий.

А.С.Поваренных



Валентин Оноприенко

МИНЕРАЛОГИЯ. ЭККУРСЫ В ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ

Под редакцией академика НАН Украины,
члена-корреспондента РАН

Е.А.Кулиша

К 150-летию со дня рождения В.И.Вернадского

к 130-летию со дня рождения А.Е.Ферсмана

к 100-летию со дня рождения А.С.Поваренных

КИЕВ 2012

УДК 26.31
ББК 549
О 59

Оноприенко В. И.
Минералогия. Экскурсы в прошлое и будущее / Валентин
Оноприенко. – К.: Информ.-аналит. агенство, 2012. – 291 с., ил.

ISBN 978-617-571-070-8

Одна из древнейших наук – минералогия – в XX веке пережила второе рождение в связи с проникновением в неё методов точных наук, переосмыслением её основ с позиций кристаллохимии, расширения объектов исследования. На протяжении многовековой истории минералогия существенно повлияла на формирование и развитие многих научных дисциплин. В книге в популярной форме дан общий абрис минералогии как науки, её истории, основных направлений, достижений, актуальных проблем. Анализируются особенности минерального уровня эволюции материи, этапы развития науки о кристаллах и минералах, достижения и школы отечественной минералогии, современное состояние минералогических исследований, проблемы и перспективы экспериментальной, технологической, био- и наноминералогии, геммологии.

Рецензенты

член-корреспондент НАН Украины А.Ю.Митропольский,
доктор исторических наук, профессор С.П.Рудая

УДК 26.31
ББК 549

ISBN 978-617-571-070-8

© Оноприенко В.И., 2012



ПРЕДИСЛОВИЕ

Минералы привлекали внимание людей с древнейших времён, и минералогия возникла в ряду первых наук о природе.

В процессе её развития удалось разобраться в сложной структуре минерального мира, выделить, изучить и систематизировать его элементарные составляющие — минералы, понять причины и условия их возникновения, найти им применение в хозяйственной и культурной жизни человека. Саморазвитие старых фундаментальных наук сопровождается дифференциацией на более узкие, качественно обособленные научные ветви и столь же определённой интеграцией их на более глубокой материальной основе. В минералогии эта дифференциация шла и продолжается на почве обнаружения качественного различия в природе разнообразных объектов её исследования (окаменелости, горные породы, кристаллы, стёкла, жидкости, газы, коллоиды и т.д.), а

установление тесного контакта и интегративного обогащения — на основе общности природы и сходства свойств объектов выделившихся из минералогии наук, что обусловлено атомным строением всех неорганических веществ.

Эта интеграция фактически распространяется на все другие науки, изучающие неорганические вещества: химию, физику твёрдого тела, физическую химию, кристаллохимию и т.д., теоретические достижения и методы исследования которых оказывают ныне самое

непосредственное и положительное влияние на развитие современной минералогии. Всё это способствует перестройке и обновлению теоретической её базы и появлению новых мощных и чувствительных приборов для изучения минералов. Минералогия – одна из наиболее методически оснащённых наук, широко использующая совершенные методы.

Многие фундаментальные геологические представления (учение о структуре и морфологии объектов, о типоморфизме, парагенезисе, физико-химическое моделирование геологических процессов) зародились именно в минералогии, как и многие разделы современной физики твёрдого тела, рентгеноструктурный анализ, представления о росте кристаллов. Минералогия продолжает питать своим материалом и идеями физику, химию, биологию.

Уже давно, в 1985 г., была опубликована моя и А.С.Поваренных научно-популярная книга “Минералогия: прошлое, настоящее, будущее”. А.С.Поваренных был уже сильно болен, и эту книгу не только не видел, но фактически и не принял участия в её подготовке. Но я в полной мере использовал в книге его огромный и оригинальный материал по истории минералогии, а также по методологическим проблемам её развития. За прошедшие десятилетия я почти забыл об этой книге, но несколько лет назад академик Е.А.Кулиш порекомендовал её переиздать. Такая идея не приходила мне в голову. Обдумывая её замысел, я решил, что будет правильно, спустя столько лет, издать книгу под моим именем. За эти годы наука не стояла на месте, произошли существенные подвижки даже в объектах минералогии, не говоря уже о методах и приоритетах, которые нельзя игнорировать. Тем не менее, внося коррективы и дополняя материал, я остаюсь приверженцем и последователем идей А.С.Поваренных.

До сих пор бросается в глаза целостность предложенной А.С.Поваренных перестройки минералогического знания на кристаллохимической основе. Его часто критиковали за данные им определения понятия “минерал”, “минеральный вид”, за чересчур уж радикальную кристаллохимическую классификацию минеральных видов, за ещё более радикальные идеи трансформации номенклатуры минералов. Но в том-то и дело, что здесь всё было тесно связано друг с другом и нельзя было вынуть один элемент, чтобы не нанести вред всей концепции, нарушить её целостность. Аргументация же при обосновании этого целостного подхода была очень сильной, и в логическом плане

она, даже спустя десятилетия, существенно превосходит аргументы и предложения его многочисленных оппонентов.

Мне импонирует яркое высказывание Александра Сергеевича: “Расшифровка структуры минералов – это “экспериментальный скачок” вглубь их сущности, раскрытие второй стороны их конституции, представляющей единство состава и строения. Лишь на основе использования законов кристаллохимии стало возможным совсем по-новому решать все главные вопросы минералогии, относящиеся к морфологии, свойствам и генезису этих природных кристаллов. Поэтому совершенно неверно утверждение, что в минералогии существует много равноценных направлений: кристаллохимическое, физическое, генетическое и т.п. Кристаллохимия – это базис, заключающий совокупность закономерностей атомного уровня организации материи. Форма минералов, их свойства, генезис (в широком смысле слова) являются функцией законов кристаллохимии минералов и только на их основе (с обязательным учётом влияния факторов среды минералообразования) они могут быть правильно поняты и решены. Все современное физическое направление в минералогии, весьма успешно развивающееся под эгидой “физики минералов”, целиком и полностью базируется на данных кристаллохимии, т.е. на законах взаимодействия и размещения атомов в пространстве кристаллического вещества. Только через законы кристаллохимии могут быть полностью раскрыты все морфогенетические проблемы минералогии, заложенные трудами наших выдающихся предшественников – Е.С.Фёдорова, А.Е.Ферсмана, А.К.Болдырева и др. Таким образом, главной теоретической проблемой минералогии наших дней является полная перестройка старой минералогии со всеми её разделами на кристаллохимической основе, что подымет эту науку на более высокую ступень и откроет совершенно новые возможности в направлении использования старых и прогнозирования новых свойств минералов, в области раскрытия законов изменения их состава на основе изоморфизма и эндокриптии в них низкокларковых элементов, в части уточнения физико-химических параметров минерало- и рудообразования... Следует лишь подчеркнуть, что кристаллохимия как наука также не стоит на месте, и в настоящее время со ступени статической (формально-геометрической) она поднимается на ступень динамической (энергетической) кристаллохимии, позволяющей ещё глубже понять взаимосвязь и взаимозависимость состава и структуры минералов, а также зависимость их от условий окружающей среды”¹.

¹ Поваренных А. С. Теоретические проблемы, структура геологической науки и эффективность научных исследований // Геол. журн. – 1977. – Т. 37. – Вып. 1. – С. 3–19.

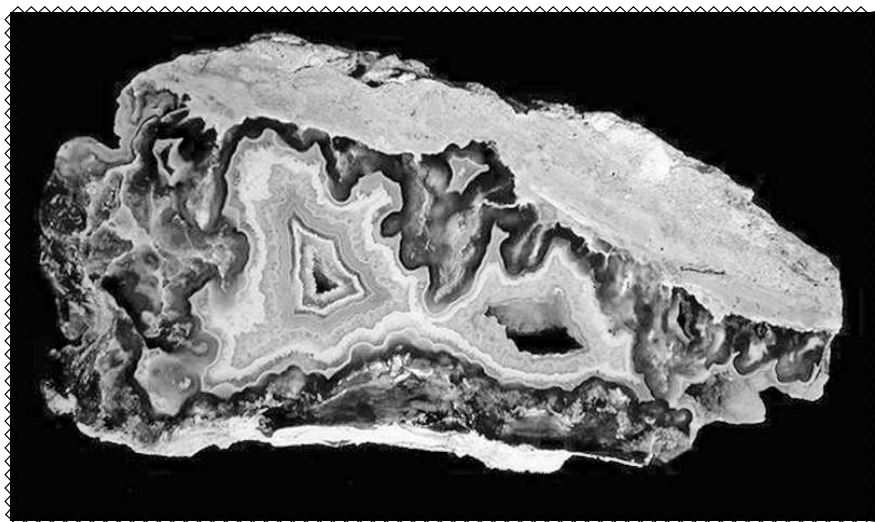
Я продолжаю считать, что идейная основа его концепции оказалась глубоко научной при рассмотрении истории минералогии и позволила представить историко-научный материал не “россыпью” (как это нередко бывает), а в виде последовательной эволюции идей, что повышает его ценность как в научном, так и в дидактическом отношениях.

Свою задачу в этой книге я видел в том, чтобы, дополняя материал, не потерять эту идейную основу, сохранить её акценты, но несколько “сгладить углы” полемически заострённых высказываний А.С.Поваренных. Насколько это мне удалось, судить читателям.

Хочу поблагодарить тех, кто помогал мне довести дело до результата: Е.А.Кулиша, одоббившего мой план и высказавшего ряд конструктивных замечаний по тексту, рецензентов работы А.Ю.Митропольского и С.П.Рудую, моего сына Михаила, выполнившего большой объём информационно-вспомогательной работы, Н.И.Жабину, откликнувшуюся на мои идеи относительно оформления книги.

Валентин Оноприенко

27 апреля 2012 г.



МИНЕРАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ ЭВОЛЮЦИИ МАТЕРИИ

Минералогия изучает чётко очерчиваемый уровень структурной организации природы, поэтому она входит в самые различные классификации научных отраслей, а в системе геологического знания ей отводят по праву одно из фундаментальных мест. Минеральная форма геохимического круговорота – это историческое и логическое начало геологической системы явлений, а минерал – наипростейший элемент последней. Такой же подход развивается в геонимических классификациях структуры объекта наук о Земле.

Совокупность минералов составляет минеральный уровень структурной организации материи, спецификой которого является кристаллическое состояние, определяющее свойства минеральных систем. Минеральный уровень занимает положение между атомным, системы которого входят в виде элементов в минералы, и уровнем горных пород, элементами которого выступают минералы.

Аморфные вещества и стёкла построены из трёхмерно, но нерегулярно сгруппированных атомов и молекул, связанных друг с другом довольно прочными связями, и в их строении угадываются зачатки островных и каркасных структур. Структура жидких кристаллов со сравнительно высокой степенью упорядоченности составляющих её молекул является переходной от неупорядоченных структур молекулярных агрегатов к структуре регулярных кристаллов. Переход к минеральным системам характеризуется резким качественным скачком, приводящим к формированию структур совершенно нового типа – строго упорядоченных,

В земной коре содержится около 90 химических элементов, сочетание которых в простейшие соединения должно дать астрономи-

ческое число (10^{28}) минеральных разновидностей, тогда как общее их количество едва достигает трех тысяч. Аналогичную закономерность показывает сочетание минералов между собой. Если принять число главнейших породообразующих минералов только за 10, то число их ассоциаций в горные породы будет грандиозным. Так, мы получим: мономинеральных пород – 10, биминеральных – 60, триминеральных – 600, тетраминеральных – 5 000 и т. д. Фактически же в петрографии приходится иметь дело лишь с 13 основными семействами и несколькими сотнями главнейших типов пород, входящих в них. Следовательно, в развитии минерального вещества в литосфере действуют определённые факторы ограничения. Принцип ограничения, по словам А.Е.Ферсмана, является основным законом парагенезиса, так как он определяет некоторый выбор из возможных сочетаний и оставляет лишь часть из реально способных к существованию. Этот отбор идёт в сторону накопления таких сочетаний, которые наиболее отвечают соответствующей обстановке и которые устойчивы в условиях своего образования и существования.

Геохимикам известно, что ход развития минерального вещества в литосфере определён двумя рядами факторов. Одни из них действуют на микроуровне, в пределах кристаллических решёток; другие – на макроуровне – это факторы ограничения среды минералов. Характер отбора, проявляющегося в структурной эволюции кристаллического вещества литосферы Земли, может быть понят только через определение вектора направленности развития минерально-кристаллического вида материи. Теория эволюции минеральных образований развивается уже довольно давно. С именем Ж.Бюффона связан переход от статических представлений о минералах, господствовавших во второй половине XVIII в., к динамическим. Однако лишь в XX в. благодаря развитию генетической минералогии и онтогении минералов эволюционное учение в минералогии вступило в интенсивную фазу, когда существование всякого минерального образования понимается как процесс его существования, а структура минерала – как “статический срез” его изменения. Кристаллическая единица литосферы рассматривается как исторический процесс реорганизации его структурной решётки, изменение химического состава.

По данным кристаллохимии, структура природных минеральных образований представляет собой не просто однородную интеграцию атомов, а сложную многоуровневую систему организации частиц. В

ней наряду с атомами выделяются структурные единицы надатомного порядка, сформированные из обособленных, индивидуализированных группировок атомов. Минерально-кристаллические образования, объединяя элементы системного и подсистемного порядков, имеют ступенчато-дифференцированный характер внутреннего строения.

Существует ли преимущественное русло структурного изменения минералов в геологической истории?

Ответ на этот вопрос дал А.Е.Ферсман: “Изменение типа решёток вообще очень закономерно и связано с постепенным переходом от сильно поляризованных решёток атомного типа к решёткам типично ионного строения... Металлические решётки → атомные → ионные решётки. Таков характерный ход постепенной, нерезкой смены типа кристаллических решёток”.

Всё это позволяет сделать вывод об определённом сходстве процесса эволюции минерального вида неживой материи с биологической эволюцией. Это сходство обнаруживается в том, что в обоих случаях процессы эволюции протекают по одной схеме: на фоне “экологических” тупиков развития выделяется одно определённое магистральное направление. Кроме того, можно говорить об “экспансии” прогрессивных систем органического и минерального мира, когда непрерывно расширяется пространственный ареал существования прогрессивных форм. Это можно объяснить постепенным освоением различных “этажей” литосферы минералами, способными устойчиво сохраняться в более широком диапазоне термодинамических условий среды, заполнением ими “сферы обитания” других минеральных разновидностей, нуждающихся в более узком и стабильном энергетическом режиме.

Предлагаются два критерия прогрессивного направления в развитии кристаллической формы материи. Первый связывают с упорядочением внутрискруктурных связей кристаллов, второй – с повышением симметричной их организации. Структурная эволюция минеральных кристаллов – это процесс развития систем с динамической, а не статической формой устойчивости, а история их развития – история совершенствования регуляционного способа стабилизации.

Объекты минералогии – кристаллы – приурочены к разделению неорганической и органической ветвей эволюции природы. Это разделение произошло между атомным и кристаллическими уровнями. С одной стороны, атомы образуют ионные комплексы, продолжающие

неорганическую ветвь структурного ряда, а с другой – молекулы, элементарные кирпичики органических систем, дающие начало молекулярным системам, а затем клеткам. Структуры атомного, ионно-молекулярного и кристаллического уровней изучает химия, а последние два уровня – также молекулярная физика и физика твёрдого тела, которые правильнее было бы называть кристаллологией. Существуют различные схемы соотношения минералогии с другими науками.

Минералогия изучает объекты кристаллического структурного уровня. Фактически эти объекты совпадают с объектами химии и кристаллологии (физики) и возникает проблема размежевания минералогии с указанными науками.

Минералогия, изучая кристаллическое вещество и представляя самостоятельную научную отрасль с определившимся познавательным аппаратом, захватывает также системы более низких уровней как системы потенциально минералообразующие и системы более высоких уровней как системы минералсодержащие (Н.П.Юшкин, 1977). Причём оказывается, что распространение методов и средств минералогии на “предкристаллическое” (минераловидное) состояние вещества, охватывающее промежуточную ступень слабоупорядоченных молекулярных и ионных группировок, неправомерно и рациональнее разрабатывать специальное учение о минералоидах, выделив их из объекта минералогии.

Наряду с этим, существует другая точка зрения, которая отстаивает существование самостоятельной минеральной формы движения материи, которая вместе с петрогенной и планетной формами стоит в одном ряду с химической формой движения, непосредственно следует за ней и образует переход от микро- к макромиру (И.Ф.Зубков, 1979). Из такого подхода следует, что объекты минералогии – кристаллы – могут быть прослежены во всех вышестоящих формах движения.

Следует подчеркнуть, что любая точка зрения на объект минералогии должна исходить из существенных признаков минерала: кристаллического его состояния, образования минерала в результате физико-химических процессов, протекающих в лито-, гидро- и атмосфере, пространственно-генетической его связи с горными породами, рудами и другими агрегатами, составной частью которых он является.

“Включённость” объектов минералогии в структуру вышележащих уровней развития природы накладывает вполне определённый отпечаток на её методологию, и существенным компонентом её методологической системы является рассмотрение минералов в их развитии, как испытывающих качественную эволюцию во времени. Можно сказать, что минералогическое исследование начинается как химико-кристаллогическое, но обретает свою истинную природу на рельсах эволюционизма, в рамках общей системы геологических наук. Минералогия пользуется химическими и физическими методами, но вписывает полученные таким образом результаты в картину геологической реальности. Такое совмещение в системе минералогического знания методологических оснований физического естествознания и геологических наук позволяет осознать ей свою природу и самостоятельный статус в естествознании.

В минералогии большое значение имеют эксперимент и моделирование, проводимые на основе фундаментальных принципов и теоретических схем физики и химии. Эффективное заимствование моделей и принципов физического естествознания открывает перспективы для разработки на такой основе минералогических теорий. Но перенос моделей физики и химии в минералогия возможен при условии их трансформации и приспособления к специфике геологических наук, в русле методологии которых сформировалась система минералогического знания. Такая трансформация моделей, заимствованных из других наук, может быть корректно проведена при соотнесении моделей с картиной геологической реальности, что должно обеспечить определенную “онтологизацию” этих моделей и большую их эффективность как “центров кристаллизации” теорий в минералогии.

Что такое минерал?

В начале XX столетия В.И.Вернадский писал, что многие проблемы минералогии зависят от решения общего вопроса – какие тела следует считать минералами. Эта верная мысль иногда недооценивается в минералогии. Кроме того, проблема определения предмета науки часто рассматривается во внеисторическом плане, вследствие чего преувеличивается роль личных взглядов отдельных ученых в данном вопросе. А это в целом создаёт впечатление о произвольнос-

ти таких важнейших научных обобщений, как определение понятий минерала и минерального вида, разработка принципа классификации минералов и т. п., отражающих якобы всего лишь точку зрения исследователя и, стало быть, лишенных объективного содержания и большой научной ценности. В качестве доказательства ссылаются на обилие различных определений понятия минерала и схем классификаций минеральных видов, фигурировавших в науке последние 150 лет и безвозвратно канувших в вечность. Но это, конечно, не так. И хотя личные взгляды (скорее, особенности мышления) учёного несомненно сказываются на его научных обобщениях, они, если в них правильно отражаются новейшие фактические данные науки и соответствующий исторический момент, тем более объективны и долговечны, чем глубже схватывают сущность, природу минерала. Такие обобщения в неуклонном и убыстряющемся развитии науки не исчезают бесследно, а отражаются на последующих определениях, выводах и обобщениях на основе закона преемственности научного знания.

Основная причина, способствующая изменению прежних определений коренных понятий минералогии и систематики минералов – неуклонное углубление в познание природы минерала, открытие в нём новых, всё более существенных сторон и взаимосвязей. Это углубление в сущность предмета минералогии идет неравномерно, так как зависит от развития методов исследования вещества, особенно принципиально новых, обеспечивающих выделение основных его этапов. Но оно идет непрерывно и сопровождается, как следствие, обязательной дифференциацией науки – процессом прогрессивным, непосредственно способствующим её дальнейшему развитию. Наиболее кардинальные изменения и повороты в минералогии всегда сопровождались отпочкованием от неё новых отраслей научного знания и всегда требовали существенного изменения коренных её понятий.

Проследим бегло историю развития определения понятия минерала, тесно связанную с дифференциацией науки. Это позволит логически последовательно подойти к обоснования современного определения.

Говорить об определении понятия минерала – это значит говорить о содержании минералогии, т. е. о том, какие объекты природы она изучает. Но, как подчёркивал В.И.Вернадский, “в далёкой тыся-

четелней истории минералогии понимание её содержания изменилось до неузнаваемости... И это содержание подвижно, оно меняется, углубляется, движется с ходом времени”.

В период зарождения минералогии на протяжении многих столетий объём понятия минерала был весьма широк. К минералам относились не только все тела неорганической природы, но и все искусственные продукты – металлы и сплавы, эмали и стёкла, керамика и краски. Их описание мы находим не только у Теофраста и Плиния, но и у Ар-Рази и Бируни, а также у европейских минералогов раннего средневековья.

Начиная с работ Г. Агриколы и на протяжении всего физического этапа минералогии, объём понятия “минерал” несколько уменьшился, так как к минералам стали относить преимущественно лишь природные, т.е. ископаемые тела. Так, в русском переводе “Минералогии” И.Г.Валлериуса говорится, что “минералы подлежат до минералогии, которая есть знание о телах смешанных, составленных и неорганических, кои непрестанно увеличиваются и растут, не имея во внутренних частях или в трубочках и жилах никакого сока”. Вплоть до конца XVIII века в минералогии наряду с минералами (в современном смысле слова) рассматривались также торф, каменный уголь, янтарь, различные горные породы и окаменелости. Но на рубеже XVIII и XIX вв. в минералогии произошли существенные изменения – она вступила в химический этап своего развития и одновременно претерпела дифференциацию. От неё отделилась сначала геология, а затем палеонтология и кристаллография.

Описываемый переломный этап в истории минералогии завершился выделением из числа её объектов качественно отличных тел – окаменелостей и части горных пород. Естественно, что по этой причине должно было измениться и само определение понятия минерала. С этого времени среди существенных определяющих признаков минерала начинает фигурировать уже физическая однородность. В связи с последней, а также под влиянием развивающихся химии и физики в число минералов постепенно включаются жидкие и даже газообразные, как, например, у Ф.Мооса и Д.Дэна, природные неорганические вещества.

Наиболее правильное определение понятия минерала, соответствующее уровню развития минералогии середины XIX в., было дано К.Ф.Науманом, которое цитируем по книге Н.И.Кокшарова: “Мине-

ралом называется всякое однородное, твёрдое или капельно-жидкое тело, которое в том виде, в каком нам представляется, есть непосредственный продукт природы, происшедшей без участия органических процессов и независимо от воли человека”. По сравнению с определением XVIII в. оно заключало дополнительные признаки, суживающие объём понятия минерала и делающие его более точным.

Это определение исключало из числа минералов не только породы и окаменелости, но также и все газы, органические камни (мочевые, печёночные и пр.), кораллы, кости и лабораторные неорганические продукты. Однако по признаку физической однородности оно ещё позволяло удерживать в числе минералов различные скрытокристаллические тела, земли, стекла и разнообразные каустобиолиты (каменные и бурые угли, ископаемые смолы и т.п.). Причисление к минералам каустобиолитов объясняется не только силой традиции, но и тем, что они вполне подходили сюда по принципу однородности (оцениваемой главным образом на глаз или с помощью лупы) при своей малочисленности и ещё недостаточной изученности. Лишь с внедрением в 1858 г. в практику исследований поляризационного микроскопа неоднородность была выявлена полнее, и вскоре подавляющее большинство горных пород было выделено из минералогии. Этому способствовала дальнейшая дифференциация науки. В 70-х годах XIX в. от минералогии окончательно отделяется ставшая вполне самостоятельной петрография, а вслед за ней в самом конце XIX в. — учение о полезных ископаемых.

К этому времени понятие минерала распространялось на такие природные продукты: кристаллические тела; различные скрытокристаллические тела, оказавшиеся в дальнейшем большей частью породами; аморфные и субаморфные тела — стёкла, каустобиолиты, а также различные коллоидно-дисперсные (в том числе и метамиктные) образования; жидкие тела и газы (введённые снова В.И.Вернадским).

И хотя с середины до конца XIX в. благодаря дальнейшему развитию методов анализа вещества количество качественно неоднородных тел среди минералов продолжало увеличиваться, тем не менее определение понятия минерала, сформулированное К.Ф.Науманом, осталось фактически тем же. Мало того, оно по существу частично сохранилось и в следующем — кристаллохимическом — этапе развития.

Одной из важнейших причин этого было огромное влияние, которое оказали на минералогов в начале XX в. геохимические идеи, осо-

бенно полно и всесторонне разработанные В.И.Вернадским. В основу характеристики минералов им был положен генетический принцип: земная кора рассматривалась как огромная физико-химическая система. Устойчивость минерала представлялась весьма относительной – он уподобился звену в цепи бесконечных химических превращений земной коры. В связи с этой концепцией характерно определение понятия минерала В.И.Вернадским в 1908 г.: “Минералом мы будем называть продукты химических реакций, протекших естественным путем в земной коре”.

По сравнению с определением середины XIX в. это определение, казалось, заключало известное преимущество, так как позволяло отнести к минералам все природные неорганические вещества. Но в этом как раз надо видеть существенный недостаток определения, поскольку оно не учитывало принципа физической однородности минерала, являвшегося объективным критерием относительной границы между минералами и более сложными минеральными телами. В этом смысле определение представляло собой шаг назад – оно было слишком широким, так как позволяло включить в число объектов минералогии не только газы, но и любые минеральные тела (в том числе, очевидно, и горные породы). Действительно, В.И.Вернадский тогда же писал: “... считаю необходимым отметить проводимый в этом сочинении взгляд на минералы как на закономерные продукты определённого химического процесса, к какой бы физической фазе они не принадлежали и хотя бы они не были вполне физически однородны”.

В дальнейшем, однако, В.И.Вернадский уточняет своё определение: “В настоящее время мы называем минералом физически или химически индивидуализированный продукт химических реакций, состоящий из химических молекул”.

Совсем другого рода определение понятия минерала было дано в это же время А.К.Болдыревым: “Минералом называется химически или физически вполне или приблизительно однородная составная часть земной коры, у которой химический состав и главные физические свойства в разных её точках постоянны или колеблются в определённых сравнительно узких пределах”.

Нетрудно заметить, что в этих двух определениях ведущие признаки минерала принципиально различны. В определении В.И.Вернадского таким ведущим признаком является “продукт

земных химических реакций”, а в определении А.К.Болдырева – “составная часть земной коры”. В первом акцент делался на веществах любого физического агрегатного состояния: твёрдом, жидком или газообразном; во втором – на твёрдом теле. Состав вещества может быть весьма неопределённым, а для газов это всегда произвольная смесь; состав твёрдого тела более или менее определённый и подчиняется (если это кристаллическое тело) закону изоморфизма. Для вещества не существует понятия индивида, а, следовательно, отсутствует и понятие вида; твёрдое тело – это и есть индивид, на базе которого возникает понятие вида. Рациональная классификация разнородных веществ – дело весьма сложное в силу трудности выбора надлежащего основания; по существу оно может быть только чисто химическим, т.е. учитывающим лишь содержание, но игнорирующим форму вещества. Рациональная классификация твёрдых тел позволяет учесть как их содержание, так и форму, т.е. может быть последовательной в научном отношении и обладать исторической преемственностью.

Становится понятным, почему В.И.Вернадский часто подчёркивал в своих работах трудности формулировки строгого определения понятия “минерал”. Он писал, например: “Дать вполне полное определение этому понятию мы не можем, как не можем дать такового и для других объектов природы”. В отношении же классификации, которая при геохимическом подходе к определению понятия минерала ему не удавалась, он подчёркивал, что “при изучении минералов эти вопросы в значительной мере открыты личным взглядам, вкусам, научным построениям исследователя. И в минералогии, как и в химии, классификации минералов могут и должны быть иными у всякого научного работника, пытающегося охватить целиком всю область минералогии”. Дальнейшее развитие минералогической систематики не подтвердило этих высказываний В.И.Вернадского, да и сам он позже в значительной мере от них отказался.

Но влияние геохимического подхода В.И.Вернадского в минералогии оказалось настолько велико, что спустя десятилетия минералогии продолжают обосновывать положение о том, что минерал – это продукт природных процессов, выступающий в виде простых тел, соединений или смесей в кристаллическом, жидком, газовом или дисперсоидном состоянии. Можно подумать, что со времени К.Ф.Наумана и Н.И.Кокшарова никаких существенных изменений в минералогии не произошло, и понимание природы минерала и его

соотношения с другими природными объектами осталось на том же уровне, лишь увеличилось число изученных минералов. Но на самом деле это не так.

В течение первой половины XX столетия в минералогии произошли весьма значительные и глубокие изменения. Прежде всего высокой степени совершенства и точности достигли методы анализа вещества – химический, спектральный, фазовый, термический, электронно-микроскопический и т. п., существенно изменившие представления о степени однородности твёрдых тел. Методы рентгеноструктурного анализа раскрыли нам атомное строение минералов и позволили экспериментально доказать существование наряду с кристаллическими аморфных и субаморфных минеральных образований (коллоидов, метамиктных тел и т. п.). Возникли новые науки – коллоидная химия, кристаллохимия и др., своими методами и теоретическими обобщениями оказывающие на минералогию большое влияние. Дифференциация минералогии не приостановилась – из неё (точнее, на её почве) выделились сначала геохимия, гидрохимия и учение о каустобиолитах, а несколько позже, в 40-х годах XX в., – наука о природных коллоидах, так называемая коллоидно-дисперсная минералогия.

Таким образом, важнейшие по своему практическому значению, но качественно отличные от кристаллических тел природные вещества – каустобиолиты, вода и водные растворы, разнообразные коллоидно-дисперсные массы самым объективным ходом развития науки оказались выделенными из минералогии. Не остались в ней и газы, формально включавшиеся в число объектов минералогии.

Понимание качественных различий между неорганическими природными объектами начиная с 40-х годов XX в. постепенно получает отражение в новых определениях понятия минерала, в которых в роли ведущего признака выступает твёрдое состояние. Так, А.Н.Винчелл (1949) предложил следующее определение: “Минерал – кристаллическая фаза, находящаяся в неорганической природе”. Определение это слишком широкое, оно заставляет считать минералами все кристаллические тела и синтетические, которыми занимаются химия и технология, и продукты металлургических процессов. Это определение не раскрывает отношений между разными кристаллическими телами неорганического происхождения и игнорирует генетические особенности минералов.

Развивая далее подход А.К.Болдырева к понятию минерала, В.С.Соболев в 1947 г. предложил такое определение: “Минералами мы будем называть твёрдые, однородные (в физико-химическом смысле) составные части земной коры, образовавшиеся в результате геохимических процессов”. Это определение, достаточно полно отражает современное содержание понятия минерала. Из числа объектов минералогии В.С.Соболев исключает жидкости и газы и в то же время отделяет минералы от других твёрдых тел, указывая на их генезис и связь с земной корой.

Однако это определение наряду с достоинствами не лишено и некоторых недостатков. Во-первых, в нём только косвенно подчёркивается, что коллоидно-дисперсные мономинеральные образования и каустобиолиты не являются минералами (как неоднородные в физико-химическом смысле). Во-вторых, для минерала в качестве родового признака указывается не ближайшее вышестоящее понятие – горные породы и руды (составной частью которых он является), а следующее за ним – земная кора. В-третьих, представляется более правильным считать, что минерал образуется в результате не геохимических, а физико-химических процессов земной коры.

Для нахождения минимума существенных признаков минерала необходимо учесть такие важнейшие его стороны: 1) конституцию, определяющую качественные различия между минералами и другими неорганическими веществами, 2) условия генезиса, определяющие особенности состава и видовое разнообразие минералов, 3) занимаемое место в бесконечном ряду дискретной материи, определяющее соотношение и генетическую взаимосвязь между минералами и другими более простыми и более сложными материальными массами.

В процессе развития определения понятия минерала легко заметить отчётливо выраженную тенденцию к сужению круга природных объектов, которые этим понятием охватываются, что ведёт к устранению коренных, существенных отличий между ними. Отмеченная тенденция является следствием постепенно углубляющегося познания их природы, или конституции, которая заключается в единстве взаимообусловленных состава и строения и определяет все свойства минералов.

Но, кроме этого, минерал обладает и другими существенными признаками; в противном случае он был бы тождествен кристалличес-

кому веществу вообще, что, разумеется, неправильно. Отличие между разными категориями кристаллических тел определяется генетическими условиями. Минералами называются лишь те кристаллические вещества, которые обязаны своим происхождением природным физико-химическим процессам, протекающим в земной коре. Отсюда следует, что все кристаллы органического происхождения, все исключительно разнообразные искусственные кристаллы (например, лабораторные, заводские, продукты выплавки, специального синтеза и т. п.), не относятся к минералам.

Разделение кристаллических тел по генетическому принципу важно потому, что генетические условия всех этих кристаллических тел существенно различны. В одних случаях все параметры Т, Р и К задаются и произвольно варьируются человеком, в других они ограничены существующими закономерностями геологических процессов, которые ещё не вполне познаны.

Следовательно, образование минерала в результате физико-химических процессов, протекающих в земной коре (а также в гидро- и атмосфере), является его вторым существенным признаком.

Правильное определение занимаемого минералом места в ряду дискретной материи также необходимо не только для выполнения условий формальной логики (указание ближайшего рода), но главным образом для установления общей генетической связи с другими материальными массами, входящими в состав оболочки земного шара. Говоря о местоположении минерала в этом ряду, часто указывают, что он – составная часть земной коры. Но это неверно, поскольку в таком случае минерал по степени сложности ставится в один ряд с горными породами, рудными телами и т.п., которые также являются составными частями земной коры, но сами состоят из минералов. Очевидно, что если земная кора представляет родовое понятие для горной породы, руды и т.д. (хотя между ними также есть промежуточные звенья), то для минерала ближайший род составляют горные породы, руды и другие минеральные агрегаты.

Указание на то, что минерал – составная часть горных пород и руд, некоторым минералогам представляется совершенно неопределённым признаком, так как существуют постепенные переходы от горных пород и руд – относительно крупных геологических тел – к минеральным агрегатам ничтожного объема (минеральным телам),

а от них – к индивиду – минералу. Отсюда, по их мнению, понятия горной породы и руды, в противоположность понятию земной коры, нечётки, изменчивы, не имеют строгого разграничения с понятием минерала. И тем не менее они не могут быть смешаны друг с другом, подобно тому как не смешиваем мы часть и целое, простое и составное, хотя категории эти относительны, так как между ними существуют постепенные переходы.

Итак, третьим существенным признаком минерала нужно считать пространственно-генетическую связь его с ближайшей вышестоящей группой дискретной материи – горными породами, рудами и другими агрегатами, непосредственной составной частью которых он является.

Кстати, такая пространственно-генетическая связь между минералами и состоящими из них геологическими телами совершенно исключает всякую возможность относить к минералам различные синтетические кристаллы, кристаллические продукты доменного и других производственных процессов.

Объединив все перечисленные существенные признаки, можно сформулировать такое определение понятия минерала: *минерал – это кристаллическая составная часть горных пород, руд и других (в том числе и коллоидно-дисперсных) агрегатов неорганического мира, образовавшаяся в результате физико-химических процессов, протекающих в земной коре и в прилегающих к ней оболочках.*

Следует иметь в виду, что *только наличие всех этих признаков определяет понятие минерала.* Отсутствие хотя бы одного из них делает определение неполным, односторонним, следовательно, неправильным. Приведённое определение обладает исторической преемственностью, сохраняя все наиболее существенные признаки прежних определений. Минерал в нём рассматривается не изолированно, а в непосредственной связи с горными породами и рудами, как составная их часть, связанная с ними единством происхождения. Качественная однородность минералов (только кристаллические тела!) позволяет в наиболее полной форме применить к ним новейшие теоретические обобщения кристаллохимии и кристаллофизики.

Минеральные виды, индивиды и агрегаты

Понятие вида – одно из коренных понятий минералогии, имеющее не только научное и философское, но и определённое практическое значение.

С ним тесно связаны вопросы химизма минералов, представления об их генезисе, а также проблема систематики и номенклатуры. Минералогия, по существу, – наука о минеральных видах, и, следовательно, выяснение того, что необходимо считать минеральным видом, т.е. определение этого понятия, оказывается чрезвычайно важным.

Минералоги в общем согласны с тем, что к одному минеральному виду следует относить те минеральные индивиды, которые имеют одинаковую природу. Но вместе с тем среди учёных до сих пор существуют глубокие расхождения ко вопросу о том, каковы должны быть рациональные границы минерального вида с точки зрения колебания химического состава индивидов и изменения их внутреннего строения. Многие минералоги используют определение минерального вида, не соответствующее современному уровню развития науки.

Понятие минерального вида как результат обобщения знаний о сходных минеральных индивидах вырабатывалось постепенно. Впервые оно было сформулировано и введено в науку К.Линнеем в 1735 г. в третьей части его “Системы природы”, где он даёт также классификацию видов. Однако одних морфологических признаков (как это было принято по отношению к растениям и животным) для безошибочного выделения самостоятельных минеральных видов оказалось недостаточно, и ему пришлось прибегнуть к двум дополнительным признакам – твёрдости и удельному весу.

Следовательно, к одному минеральному виду К.Линней относил все минеральные индивиды, которые обладают одинаковой кристаллической формой, твёрдостью и удельным весом.

Следующий этап в развитии понятия минерального вида связывается с огромными успехами неорганической химии, достигнутыми к концу XVIII в., и упорядочением стехиометрических её законов, утверждавших постоянство состава соединений. В минералогии последнее нашло отражение в молекулярной теории строения кристаллов Р.Ж.Гаюи, который считал, что каждому природному кристаллу определённой формы (за исключением кубической) соответствует

только один строго определённый и неизменный химический состав, и наоборот, данному веществу определённого состава соответствует только одна характерная кристаллическая форма. На этом основании Р.Ж.Гаюи и его последователи к одному минеральному виду относили индивиды, обладающие одинаковой кристаллической формой или (если форма плохо или не вполне выражена) одинаковым химическим составом.

В России минералоги не придерживались в тот период столь крайних взглядов в этом вопросе и никогда не подчиняли химический состав морфологическим признакам, признавая ведущую роль за первым. Так, В.М.Севергин писал: “Лучший способ разделения минеральных тел есть тот, который основан на химических признаках, ибо они ясно, точно, кратко и основательно определяют минеральное тело. Классы и роды определяются наилучше по главной составляющей части, виды по различному смешению составляющих частей и по явлениям и переменам, от сего смешения происходящим, присовокупляя к тому все их наружные признаки”. Отсюда следует, что минеральные виды определялись В.М.Севергиным на основе единства химического состава и совокупности физических свойств и морфологических признаков минералов, а не только на основе последних, тогда ещё мало изученных для большинства минералов.

С открытием явлений изоморфизма и полиморфизма, позволивших обнаружить ошибочность принципов Р.Ж.Гаюи определение понятия минерального вида неизбежно должно было измениться, особенно в связи с получившими теоретическую опору фактами изменчивости химического состава минералов. Это вполне было осознано И.Я.Берцелиусом и Д.И.Соколовым. Последний уже через 12 лет после исследований Э.Митчерлиха по изоморфизму сформулировал определение понятия минерального вида, отличавшееся глубоким пониманием того, что изменчивость большинства минералов является их коренным свойством и поэтому минеральный вид охватывает все индивиды, химическое различие которых обусловлено изоморфным замещением элементов. Это определение не совпадало с определением И.Я.Берцелиуса, который считал вид менее общим понятием, соответствующим скорее разновидности, с точки зрения Д.И.Соколова. К сожалению, правильное положение последнего не было оценено его современниками и учениками и осталось неразвитым. К тому же большинство выдающихся русских ученых в течение

последующих 60 лет было увлечено изучением преимущественно морфологии природных многогранников в ущерб химическому направлению минералогии.

За границей, где попытки И.Берцелиуса дать более рациональное определение минерального вида так и не увенчались успехом, укрепилось почти без изменения определение минерального вида, данное Р.Ж.Гаюи, чему способствовали как стехиометрические (прустовские) идеи в химии, так и метафизическое воззрение учёных на природу минералов. Это определение находим и у американских учёных того времени, например у Д.Дэна, и у европейских минералогов Ф.Бедана, Ф.Мооса, В.Гайдингера, А.Деклуазо, Ф.Наумана и др. Оно с середины XIX в. было перенесено и в отечественную минералогию, главным образом переводчиками иностранных учебников, например, М.Медведевым, взявшим и для своей собственной книги “Минералогия” (1863) определение минерального вида не у Д.И.Соколова, а у Ф.Наумана.

В то же время минералы переменного состава, характеризующиеся изоморфным замещением элементов в широких пределах и не отвечающие определению Р.Ж.Гаюи, стали совершенно искусственно делить на так называемые “виды” чисто математическим путем. Такое деление оказывалось совершенно произвольным, как это видно на примере вольфрамита, переменный состав которого разбивался на три области К.Раммельсбергом, Ф.Хессом и В.Шеллером, А.К.Болдыревым и Э.Я.Ляски, у каждого различным способом и без серьёзного обоснования. То же наблюдается при делении на “виды” плагиоклаза, оливина, шпинели, граната и других минералов. Причём “самостоятельность” каждого такого “вида” стремились закрепить специальными собственными наименованиями, количество которых быстро возрастало. Понятно, что путём такого искусственного деления минералов переменного состава основное противоречие между определением понятия минерального вида, базирующегося на строго определённом составе, и отсутствием такового у этих искусственных видов не могло быть разрешено. Становилось очевидным, что укоренившееся определение минерального вида не отвечает природе минералов.

Тем не менее в русскую минералогию это устаревшее определение, в основе которого лежит несуществующее абсолютное тождество состава и строения, с начала XX ст. вошло очень прочно, в чём легко

убедиться по соответствующим формулировкам, приведённым в книгах А.В.Нечаева, А.К.Болдырева, А.Г.Бетехтина, Е.К.Лазаренко. Это обстоятельство явилось следствием незаслуженного забвения передовых взглядов, проявившихся в химической минералогии России ещё в первой половине XIX века, в силу чего отечественная наука восприняла более отсталые, но общепризнанные представления.

Необходимо отметить, что некоторые выдающиеся русские минералоги, как, например, В.И.Вернадский, совершенно необоснованно недооценивали важность этого коренного понятия минералогии, считая, что такие вопросы, как вопрос минерального вида, в XIX в. “исчезли из области минералогии” или “мало-помалу отошли в сторону”. Но уклоняясь от определения понятия минерального вида и избегая подобного названия (вместо слов “минеральный вид” он всюду употребляет слово “минерал”), Вернадский не мог, естественно, исключить его из сферы научного логического мышления². В результате он стал относить к самостоятельным видам минералы, обладающие незначительными химическими отличиями (например, самородные элементы, природные воды и т. д.), т. е. делить минералы ещё более подробно, чем это было принято за границей, и вопреки идее изоморфизма элементов, им же развиваемой.

Новый этап в развитии концепции минерального вида наступил в 30-х годах XX в. в связи с успешным развитием кристаллохимии, резко подчеркнувшей не молекулярную, а атомную природу изоморфизма в минералах и непостоянство состава как основную закономерность природы последних. Этот этап начался с критики метафизической сущности старого определения понятия “минеральный вид”.

В 1927 г. Н.Г.Винчелл и А.Н.Винчелл впервые высказали мысль, что понятие “минеральный вид” должно включать все индивиды аналогичного строения, которые связаны непрерывностью в изменении химического состава. Эту правильную точку зрения А.Н.Винчелл позже всё настойчивее проводил в своих статьях и учебниках, иногда только излишне увлекаясь недостаточно обоснованным объединением различных видов.

² Главной причиной трудности определения понятия минерального вида у В.И.Вернадского явилось включение в число объектов минералогии качественно совершенно различных веществ – твёрдых, жидких и газообразных, которые не имеют почти ничего общего друг с другом с точки зрения основных закономерностей состава и строения.

Позже определения минерального вида, отражавшие новый подход, дали П.Ниггли, Э.Бранденбергер, Г.Л.Оллинг, Ж.Орсель. Все они в разной степени подчёркивали, что к одному минеральному виду следует относить минералы с общим мотивом структуры и составом, изменяющимся непрерывно в зависимости от природы атомов. В послевоенный период и в советской минералогии понятие минерального вида стало рассматриваться с новых позиций (В.С.Соболев, А.С.Поваренных, Д.П.Григорьев). Несмотря на различие формулировок, содержание новых определений понятия минерального вида отражало обобщения в современной минералогии, соответствующие кристаллохимическому этапу её развития.

Итак, на каждом этапе развития минералогии представления о минеральном виде соответствующим образом изменялись. На *дохимическом этапе* основным критерием для выделения видов было *тождество морфологических признаков и физических свойств*, на *этапе химическом* – *тождество кристаллической формы (сингонии) и химического состава*; наконец, на *кристаллохимическом этапе развития минералогии* – *тождество химического и внутреннего строения минералов*. Однако если на предыдущем этапе развития минералогии в силу господства метафизического мировоззрения в естествознании тождество основных признаков минерального вида понималось в абстрактном смысле, т. е. как абсолютное тождество, то в наше время это тождество воспринимается большинством мыслящих минералогов лишь как относительное, приблизительное, вытекающее из конкретной природы минералов и ею определяющееся.

Природа минерала заключается в единстве состава и строения. Особенностью этого единства является неполное соответствие одного другому, обуславливающееся возможностью изменения состава в определённых границах при одном и том же (или близком) типе структуры. Это изменение, как и его границы, вытекает из законов изоморфизма, уже достаточно хорошо изученных. Из этого следует, что тенденцию к ограничению минерального вида рамками постоянного состава, подвергавшуюся сомнению уже в эпоху Р.Ж.Гаюи и толкающую фактически к бесконечному выделению “новых” видов на основе незначительных химических отличий, надо считать ошибочной, в корне противоречащей природе минерала. Также не пригоден для выделения границ вида и сугубо формальный метод Хесса – Болдырева (против которого особенно возражал А.Е.Ферсман),

совершенно искусственно разделяющий единые по своей природе минералы, связанные непрерывностью изоморфного замещения элементов. Химические границы минерального вида должны быть естественными, т. е. намечаться сами собой как реальный разрыв (предел) непрерывности изменения состава минералов.

Для правильного определения понятия минерального вида необходимо учесть все существенные признаки этого понятия. О химическом составе уже говорилось; границы вида с этой стороны определяются непрерывностью (постепенностью) изменения состава индивидов. Каковы структура границы минерального вида? По этому вопросу взгляды минералогов в общем как будто сходятся: минералы одинакового состава, но с различными структурами (полиморфные модификации) считаются самостоятельными минеральными видами. Изменение свойств является резким только при полиморфных превращениях с переменной координационного числа или структурного мотива; в других же случаях оно, как правило, несущественно. Напротив, значительно важным есть то обстоятельство, что каждая из таких полиморфных модификаций имеет определенное поле устойчивости в изменчивых термодинамических условиях земной коры, в силу чего исключается возможность равновесного сосуществования.

Таким образом, кажется очевидным, что структурной границей минеральных видов одинакового состава является тип структуры, с изменением которого происходит скачкообразный переход одного вида в другой. Действительно, изменение состава в минеральных видах с изовалентным изоморфизмом элементов происходит в подавляющем большинстве случаев в рамках структуры одного и того же вида. Но в некоторых минеральных видах с изменением состава происходит постепенное изменение структуры от одного типа к другому через переходные формы. В слоистых минералах переход от одного структурного типа к другому обычно связан с изменением состава или, вероятнее всего, определяется лишь ничтожными его изменениями, хотя в целом этот вопрос еще недостаточно изучен.

Отсюда следует, что первоначальный вывод об однотипности структур как строгим критерии тождественности изоморфных видов не точен. Более правильным структурным критерием для отнесения минералов к одному виду нужно считать принадлежность их к одинаковым структурным группам.

Принимая во внимание химические и структурные границы минерального вида и учитывая зависимость их от внешних условий, можно дать следующее определение этого понятия: *к одному минеральному виду относятся все минеральные индивиды, характеризующиеся одинаковой структурной группой, химическим составом, лежащим в пределах ряда непрерывного изменения, и равновесным сосуществованием в определённых термодинамических условиях земной коры.*

Единство этих трёх наиболее существенных признаков позволяет с достаточной определённой наметить новые границы для минеральных видов в обширном минеральном мире, отвечающие уровню современных наших знаний о природе земного кристаллического вещества.

Изменение состава минерального вида сопровождается соответственным изменением параметров его элементарной ячейки и всех свойств. Разумеется, наиболее существенными эти изменения оказываются в совершенно изоморфных видах (например, оливине, плагиоклазе, вольфрамите и т. п.). Но так как некоторые свойства минералов, например окраска, люминесценция и др., резко меняются уже при незначительных колебаниях химического состава, то и для видов с ограниченным изоморфизмом возможны очень заметные отличия в свойствах (например, корунд – рубин, берилл – изумруд, сфалерит – марматит). В дохимический этап развития минералогии большинство подобных физически особенных минералов рассматривались как самостоятельные виды с собственными названиями. Позже, с развитием химического анализа, многие из них закономерно перешли на положение внутривидовых отличий – разновидностей.

Подвид, разновидность и разность – понятия меньшего объёма, лежащие между видом и индивидом (внутривидовые понятия). Подвиды выделяются только для совершенно изоморфных двухкомпонентных минеральных видов. Однокомпонентные виды делятся непосредственно на разновидности и разности. С развитием содержания минералогии эволюция внутривидовых понятий постепенно усложнялась, что характерно и для химических элементов. Если вначале изменения состава минеральных видов могли быть охарактеризованы одним понятием разновидности, то позднее, с введением точного химического анализа всех минералов, для незначительных изменений состава потребовалось введение понятия разности, а для первичного

(наиболее грубого) деления двухкомпонентных минеральных видов возникла необходимость образования нового понятия подвида.

Количество минеральных видов нельзя определить точно. Обычно их насчитывают от 2000 до 3000. Такая неопределённость связана, с одной стороны, с различными толкованиями понятия “минеральный вид”, а с другой – с постоянным приростом вновь открываемых минералов. Каждый год минералогический каталог пополняют от 30 до 100 новых названий минералов, хотя число достоверно новых минеральных видов значительно меньше (около 40). Причём количество открываемых ежегодно новых минералов постоянно растёт, что связано с совершенствованием методов их диагностики.

При детальном знакомстве с минералогией всегда поражает относительно малое число минеральных видов по сравнению не только с теоретически возможным их числом, но даже с известным перечнем синтетических веществ неорганического состава, получаемых для химического анализа научных исследований и для нужд техники и промышленности. Основные факторы, от которых зависит количество минеральных видов: распространённость в земной коре минералообразующих элементов (кларк); кристаллохимические свойства минералообразующих элементов; изоморфная “ёмкость” минеральных видов; разнообразие концентраций элементов и пределы температуры и давления в различных минералообразующих процессах; наличие линий “скрещения” разных минералообразующих (геохимических, по А.Е.Ферсману) процессов; устойчивость минеральных видов по отношению к изменяющимся факторам окружающей среды.

Из перечисленных факторов важнейшим является не распространённость минералообразующих элементов, определяющая скорее массу соответствующих видов в объёме земной коры, а их кристаллохимические свойства в виде электроотрицательности, размера, валентности и координации атомов. Основная причина, обуславливающая повышенную “склонность” элемента к видообразованию, – степень его *кристаллохимической обособленности*, которая заключается в отсутствии большого сходства с другими элементами по главным кристаллохимическим параметрам. Это приводит к тому, что многие элементы со средними или даже очень низкими величинами кларков оказываются весьма продуктивными в отношении видообразования. К ним относятся медь, бериллий, бор и др., а среди более распространённых – хлор, сера, углерод, марганец, водород.

В онтогении минералов значительную смысловую нагрузку несут понятия “минеральный индивид” и “минеральный агрегат”, которые вместе с тем характеризуются противоречивостью. Например, понятие индивида, с одной стороны, отражает то частное и неповторимое, что свойственно отдельным кристаллам и зёрнам, а с другой, имеет ряд общих признаков, позволяющих подойти к классификации индивидов. То же можно сказать и об агрегатах (Ю.М. Дымков, 1963). Определение понятий “минеральный индивид” и “минеральный агрегат” имеет также прикладное значение, так как служит отправным моментом для классификации структур и текстур руд.

Понятие “минеральный индивид” имеет две основные линии взаимосвязи с сопоставимыми понятиями, характеризующие его с различных сторон: одна из них с понятием минеральный вид, другая с понятием минеральный агрегат. Согласно Д.П. Григорьеву (1961), индивид это образовавшееся в природе обособление однородного химического вещества, физически отделённое от других естественными поверхностями раздела. Здесь минеральный индивид выступает как конкретная форма минерального вида, а минеральный вид как содержание данного индивида.

Реальный кристалл, наблюдающийся в виде многогранника или кристаллического зерна, часто имеет крайне сложное строение. В некоторых случаях, например, кристаллы, сложенные блоками, имеют мозаичное строение. Угол срастания блоков в одних кристаллах мал, в других он настолько заметен, что едва можно провести границу между кристаллическим агрегатом и отдельным кристаллом или зерном. Такие кристаллы возникают при росте или при механических деформациях.

Понятия индивид и агрегат относятся между собой как часть и целое: любой агрегат состоит из частей индивидов, но каждый индивид в отдельности также представляет собой целое по отношению к слагающим его частям (например, блокам). Таким образом, в общем виде понятия агрегат и индивид относительны, абсолютна лишь соподчинённость между ними в каждом конкретном случае.

Характерным признаком, который может быть положен в основу определения понятий индивид и агрегат, поскольку речь идет о твёрдых кристаллических телах, является способность этих тел образовывать при росте в идеальных условиях правильные симметричные фигуры. Невозможность образования симметричных фигур

или появление такой возможности в результате роста или растворения минерала является в онтогеническом плане крупным качественным скачком. Индивид – устойчивая для данных условий форма существования минерального вида, обладающая в силу своей внутренней определённости при идеальном развитии или дорастании в свободных условиях всеми признаками правильных геометрических фигур, и прежде всего чёткими элементами симметрии.

Агрегат – скопление разобщённых, либо сросшихся индивидов, не обладающее при идеальном развитии чёткими признаками симметричных фигур.

Форма выделений минерала определяется, с одной стороны, составом и структурой, т. е. кристаллохимическими особенностями вещества, с другой, средой, в которой минерал образуется. Большое значение при этом имеет симметрия среды, её состав и физические свойства, возможность возникновения пересыщений, в какой-то мере определяющих появление тех или иных граней, и т. д. Взаимодействие минерала и среды создаёт определённый тип индивида.

Реальный индивид может быть почти упорядоченным (например, кристалл, скелетный кристалл, сферокристалл) или частично неупорядоченным (мозаичный кристалл, дендрит, сферолит), но во всех случаях они могут образовывать по определенным законам роста геометрические фигуры. Агрегат также может быть частично упорядоченным, например, мономинеральные пласты свежееосажденного галита или роговообманковые слюдяные и хлоритовые сланцы, имеющие структуру, подобную структуре гигантских двойниковых блок-кристаллов. Однако упорядоченность не позволяет считать пласты галита или сланцев минеральным индивидом, это индивиды геологического порядка. В общем случае упорядоченность кристаллов более высокого порядка, чем упорядоченность агрегатов. В природе трудно найти полный (идеальный) порядок или полный беспорядок, поэтому в качестве дополнительного ограничивающего признака понятий индивид и агрегат вводится возможность образования твёрдым телом правильных геометрических фигур.

Минеральные индивиды можно представить как мономинеральные или почти мономинеральные тела, прошедшие стадию идеального роста или дающие при дорастании правильные геометрические фигуры, форма которых обусловлена упорядоченностью слагающих их частиц. Стадии роста индивидов в кристаллических зёрнах могут

быть выявлены различными методами, например, по окраске, по распределению включений, травлением и т. д. Метод дорастания широко используется в кристаллографии и стал применяться в онтогении минералов.

Индивид представляет собой агрегат геометрически упорядоченных субиндивидов, поэтому простые и сложные двойники, тройники, закономерные сростания и прорастания, как и скелетные формы, можно рассматривать как индивиды.

Морфология, размеры индивидов и их взаимоотношения, включая степень упорядоченности, определяют структуру мономинерального агрегата. Морфология агрегатов и субагрегатов и взаимоотношения субагрегатов между собой определяют текстуру мономинерального агрегата.

Дальнейшее развитие агрегатов снова ведёт к образованию индивидов. При этом возможны два основных пути: в зернистых агрегатах – собирательная перекристаллизация, в друзовых агрегатах – геометрический отбор. Но и в том и в другом случае главнейшей причиной является стремление к минимуму свободной поверхностной энергии, к более устойчивому для минерала упорядоченному состоянию к индивидам. Как показал Ю.М. Дымков, взаимоотношения между природными объектами, отражёнными в понятиях индивид и агрегат, сложны и бесконечно разнообразны. Изучение и систематизация этих взаимоотношений поможет найти теоретические основы для классификации полиминеральных агрегатов пород и руд.

Классы минералов

Классификация минералов как одна из форм познания их природы играет в минералогии важную роль, так как отражает наиболее существенные взаимосвязи между минералами и помогает выявлению внутренних закономерностей минерального мира. Научная классификация минералов (как и любых других объектов в геологических науках) требует, чтобы в основу её был положен наиболее существенный признак, который определял бы остальные признаки минералов. Очевидно, что этот наиболее существенный признак должен принадлежать самим минералам, т.е. отражать их собственную природу, а не являться по отношению к ним чем-то

внешним, как это имеет место в так называемых чисто генетических классификациях. Но естественно, что на протяжении истории минералогии с развитием познания различных объектов минерального мира неизбежно изменялись и представления о наиболее существенных признаках минералов. Это и является причиной изменения и преобразования классификаций минералов, так как со временем один существенный признак, взятый за основу, заменяется другим, еще более существенным.

Для успешной разработки и более глубокого понимания современной кристаллохимической классификации минеральных видов необходимо проследить, хотя бы в общих чертах, историю систематики минералов в связи с основными этапами развития минералогии. Это позволит установить динамику общей основы систематики минералов, выявить взаимосвязи между различными видами классификаций и степень преемственности старых обобщений в новых схемах.

Попытки разделения камней и вообще минеральных веществ на сходные группы относятся к глубокой древности, и, хотя письменных источников не сохранилось, мы угадываем элементы этой систематики в древних названиях. Первая дошедшая до нас рациональная классификация минеральных веществ приведена в книге Теофраста “О камнях”. В ней описано 59 естественных и искусственных минеральных веществ, которые разделяются по применению и свойствам на такие группы: добываемые в крупных блоках; ценные цветные камни; плавкие камни; горючие камни; негорючие камни; драгоценные камни (поделочные); легко разрезаемые камни и землистые вещества (краски).

В значительно более полной сводке минеральных веществ Плиния Старшего последние классифицируются по практическому применению.

Принципы систематики Теофраста были приняты значительно позже учеными средневекового Востока, особенно Ал-Кинди и Бируни. Однако более глубокое практическое значение свойств минеральных веществ, особенно развитое у алхимиков и врачей, позволяет создать более совершенную систематику. Так, алхимик Ар-Рази разделял все минеральные вещества по свойствам на шесть классов: спирты (летучие), тела (металлы), камни, купоросы, буры и соли. Но уже столетием позже Ибн-Сина дал более простую и обоснованную схему классификации (купоросы и нашатырь он отнёс к солям, ртуть —

к металлам): камни, плавкие тела (металлы); серные (горючие) вещества и соли (растворимые).

Эта схема, в основу которой положены важнейшие физические свойства (твёрдость, плавкость, горючесть, растворимость), оказалась очень простой и устойчивой и господствовала в трудах европейских минералогов, начиная с эпохи Возрождения, когда в науках широко распространился эмпирический метод.

Через 500 лет после Ибн-Сины более детальную классификацию минералов, основанную на их свойствах, дал Г.Агрикола. В ней учитываются не только существенные свойства минеральных веществ, но также их строение и агрегатное состояние. Он делит все природные продукты на две категории: жидкости и газы, ископаемые. Последние, в свою очередь, делятся на: простые (гомогенные) и сложные (гетерогенные). Простые разделяются на четыре класса: земли, соли (загустевшие соки), камни и металлы; сложные делятся на два класса: тонкие смеси (компактные) и грубые смеси (рыхлые). Классифицируя ископаемые, Г.Агрикола, естественно, не отделяет ещё породы и руды от составляющих их минералов, а также от окаменелостей. Он не мог с достаточной точностью различить простые и сложные тела, поэтому его “камни” включали одновременно и сложные тела, так же, как “тонкие смеси” объединяют и мономинеральные агрегаты.

Начиная с систематики Г.Агриколы и до конца XVIII было предложено несколько десятков классификаций минералов, построенных, как и она, на физических и морфологических признаках и поэтому весьма сходных между собой. Одной из последних в этом ряду была поздняя классификация минералов А.Г.Вернера (1817), которая содержал 317 минеральных видов и разновидностей и по принципу разделения на классы не отличалась от предыдущих (даже, пожалуй, была ближе к систематике Ибн-Сины, чем Агриколы), хотя в распределении минералов внутри классов уже заметно сказывалось влияние химического состава.

Таким образом, начиная с древнейших времен и на протяжении всего физического этапа развития минералогии основой всех известных классификаций минералов (за исключением наиболее древних, где доминировали чисто практические цели) являлись их свойства. А так как в основу деления Ибн-Сина положил весьма существенные свойства, отражающие (как теперь известно) тип химической связи, предложенная им классификация продержалась без существенных

изменений свыше 800 лет. Она уступила место лишь более строгой и глубокой химической классификации, но уступила не сразу, а постепенно, в упорной борьбе между её защитниками – К.Линнеем, И.Валлериусом, А.Г.Вернером, Ф.Моосом и их последователями и поборниками химического направления – А.Кроншtedтом, Т.Бергманом, В.М.Севергиным, И.Я.Берцелиусом, Д.И.Соколовым, Д.Дэна и др. Эта борьба, длившаяся почти столетие (1758– 1854), окончилась полной победой классификации, основанной на химическом составе минералов. Так, на смену прежним классификациям, базировавшимся на физических свойствах минералов, в середине XIX в. пришла химическая классификация, ибо химический состав явился тем наиболее существенным признаком минералов, который значительно глубже отражает их природу, чем физические свойства. Как одна из сторон природы минералов, химический состав выступает в качестве основной, главной их характеристики, в то время как их свойства в значительной мере от него зависят, являясь внешним его выражением.

Классификация минералов на химической основе создавалась постепенно. Она также прошла сравнительно длинный путь развития, медленно пробивая себе дорогу, зародившись внутри и на базе старых классификаций. Так, в первых химических системах А.Кроншtedта (1758) и Т.Бергмана (1782) лишь наиболее крупные разделы были выделены на основе химических данных, в остальном же доминировали внешние признаки, так как слишком скудны еще были знания химического состава минералов, который был больше качественным, чем количественным. В течение второй половины XVIII в. и первой четверти XIX в. шла борьба между двумя группами учёных – приверженцами так называемой естественной (т. е. основанной на внешних признаках) системы и защитниками химической системы. Последние считали, что истинная природа и характер минерала определяются веществом, из которого он состоит, а внешние, физические его признаки и свойства являются вторичными по важности для целей классификации.

Но физические признаки были наглядными, и построенные на них классификации казались вполне ясными, тогда как понимание важности химического состава было доступно наиболее продвинутому ученым – скорее химикам, чем минералагам. Поэтому в начале XIX в., несмотря на попытку Р.Ж.Гаюи создать более совершенную

химическую систематику, широко распространилась классификация А.Г.Вернера, которая вначале целиком была основана на внешних признаках, но к концу активной деятельности знаменитого немецкого минералога приобрела уже несколько смешанный характер.

Спустя почти 50 лет последователь А.Г.Вернера Э.Эйхвальд, работавший в Петербургской академии наук, утверждал: “В этом отношении (т. е. при классификации.— *В.О.*) химические признаки важностью уступают кристаллографическим и физическим; физические совершенно независимы от химических, и минерал может быть определён по ним одним, несмотря на химический состав. Наружные признаки, введенные Вернером в науку для определения минералов, ещё и ныне остаются в целости и не изменились; между тем химические беспрестанно изменяются... Более усовершенствованная химия, может быть, покажет в минералах наибольшие различия в составе и посему опять переменит расположение в системе. В этом-то постоянстве состоит большая выгода наружных признаков, которые, если только с точностью описаны, никогда не изменяются и без всякого труда могут быть наблюдаемы и описываемы”. И далее: “Так как минералы одного химического состава, но отличающиеся разной кристаллической формой, как серный колчедан и серный известняк, известковый шпат и арагонит, анатаз и рутил, доказывают, что химический состав сам по себе не составляет ещё существенного признака минерала (это только одна сторона их, которая по сему самому принадлежит более химии, нежели минералогии), то естественная система должна обратить своё внимание не только на эти, но в особенности на наружные признаки, которые легче и скорее могут быть рассматриваемы, нежели химические, весьма скрытые и не каждому доступные”.

И это писалось уже после того, как были опубликованы достаточно хорошо известны химические классификации И.Я.Берцелиуса (1819), Д.И.Соколова (1831–1832) и Д.Дэна (1837). Здесь в полной мере видна (если не принимать во внимание грубых ошибок Эйхвальда) не только недооценка примата химического состава над физическими признаками минералов, но также стремление к созданию законченной, неизменной, идеальной схемы классификации, о которой мечтал А.Г.Вернер и которая вполне отвечала метафизическому взгляду на неорганическую природу, характерному для большинства минералогов XVIII в.

На химическом этапе развития минералогии во второй половине XIX в. химическая классификация стала господствующей. Этому в значительной степени способствовали большие успехи аналитической химии минералов и теоретические обобщения И.Я.Берцелиуса, впервые отнесшего самый обширный отряд силикатов к солям кремниевых кислот. Но если в первых химических классификациях минералов А.Кронштедта, Т.Бергмана, Р.Ж.Гаюи, а также вначале у И.Я.Берцелиуса систематизация строилась по электроположительным элементам, т. е. катионам, то в 1826 г., сразу же после открытия Э.Митчерлихом явления изоморфизма, И.Я.Берцелиус предложил новую систематику минералов по электроотрицательным элементам, т. е. анионам, которые не показывали столь выраженных изоморфных отношений. Так возникли классы окислов, сульфидов, галоидов, силикатов и т. д.

С этого времени во всех новых химических классификациях Д.И.Соколова, Д.Дэна, Г.Розе деление на классы последовательно произведено по анионам и радикалам, которые значительно резче влияют на свойства соединений. Д.Дэна выделяет следующие классы: самородные вещества, сернистые и мышьяковистые соединения, галоидные соединения, кислородные соединения и органические вещества. В дальнейшем, со второй половины XIX в., химическая классификация минералов Д.Дэна (как и близкая к ней классификация Г.Розе) стала фактически основной для всех минералогов на долгое время. Но, оставаясь неизменной по форме, она развивалась по содержанию – расширялся объём классов, открывались новые химические типы, особенно среди кислородных соединений. Вскоре в качестве дополнительного существенного признака классификации была принята кристаллическая система (сингония) минерала, позволившая объединить их в родственные группы (например, пироксены, амфиболы, группа кальцита, группа арагонита, группа пирита и т. п.). Очень большую роль в выяснение химической конституции силикатов сыграли работы Г.Чермака и особенно В.И.Вернадского, выделившего среди класса силикатов соединения иного типа – алюмосиликаты, боросиликаты и др.

Почти в то же время, но уже с других, кристаллохимических позиций шла разработка новых принципов классификации минералов. Наибольшие заслуги в этой области принадлежат П.Гроту и Е.С.Фёдорову, заложившим основы кристаллохимии. Так, в 1913 г.

Е.С.Фёдоров писал: “Лишь в самое последнее время принцип, положенный в основу кристаллохимического анализа, мог бы привести к такой классификации, что действительно для каждого минерала нашлось бы своё строгое место. И такую классификацию даже нельзя было бы назвать искусственной, так как в основе её лежала бы кристаллическая структура минералов, то есть как раз то, что существеннейшим образом характеризует природу каждого”.

Однако разработка подлинной кристаллохимической классификации стала возможной лишь с 20-х годов XX ст. на основе совершенно новых данных о строении минералов. С развитием идей и методов кристаллохимии постепенно становилось всё более ясным, что в основу классификации минералов должны быть положены особенности их химического состава и внутреннего строения, так как они в своём противоречивом единстве представляют коренную сущность минералов и целиком определяют все их разнообразные свойства.

Впервые кристаллохимический принцип классификации применён в 30-х годах XX ст. Л.Брэггом (1934), В.М.Гольдшмидтом (1937) и др. для минералов класса силикатов, который был разделён на подклассы уже не только по химическому составу, но и в соответствии с особенностям внутреннего строения – различием способов сочленения кремнекислородных тетраэдров в пространственные комплексы.

Этот новый структурный принцип, принятый для внутренней систематики класса силикатов, не стал, однако, коренной противоположностью прежнему принципу – химическому.

Напротив, было сразу замечено, что они во многом довольно хорошо согласуются, так что большая группа отделов класса силикатов, уже давно выделенных на основе химического состава и кристаллографических форм, в новой классификации полностью уцелело.

Дальнейшее развитие кристаллохимической классификации минералов относится уже к 50-м годам XX ст. Однако использование структурного принципа для выделения подклассов в других классах минерального мира осуществлялось слабо. Он был применён лишь по отношению к фторидам, сульфидам и окислам, и то частично, без распространения на все минеральные виды. Существующие ныне так называемые кристаллохимические классификации не вполне удовлетворительны именно с кристаллохимической стороны.



МИНЕРАЛОГИЯ В РЕТРОСПЕКТИВЕ

Предыстория минералогии

Появлению минералогии как определённой системы знаний предшествовал огромный период формирования человека, развитие его трудовых навыков и самого процесса мышления. Это был период длительного накопления человеческого опыта, постепенного осмысления человеком окружающей природы, открытия в предметах и явлениях новых, неизвестных ему прежде свойств и качеств. В процессе преобразования природы мышление людей, вначале сугубо конкретное (предметное), лишь очень медленно и постепенно приобретает черты логического мышления, опирающегося на абстракции и обобщения. На протяжении всего этого времени люди для своих практических нужд (главным образом для изготовления оружия и орудий труда), а также в качестве украшений и, по-видимому, с лечебными целями использовали различные горные породы и минералы, количество которых постепенно возрастало. К концу неолита, т. е. примерно около 6 000–7 000 лет назад, общее число только используемых минеральных видов и разновидностей превышало уже четыре десятка. Несомненно, что люди были хорошо знакомы со многими свойствами минералов и горных пород.

Изучение древнейших письменных источников, содержащих сведения об ископаемых, как, например, индийских “Вед” (XI–X вв. до н. э.), “Рамаяны” и “Махабхараты” (III–II вв. до н. э.), китайских сочинений “Сан-Хей-Дин” и “Гуан-Цзы”, относящихся примерно к VII–V вв. до н. э., трактата “О камнях” Тиртама – ученика Аристотеля, известного под именем Теофраста, и, наконец, книг Плиния Старшего, показывает, что ещё 2000–3000 лет назад в разных странах людьми

был накоплен значительный практический опыт в области диагностики минералов, руд и горных пород, их разведки, добычи и применения. С возникновением классового общества и упрочением религии особенное внимание уделяется драгоценным камням, которым часто приписываются магическая сила и связь с астральными телами.

Разумеется, что о существовании науки минералогии в тот период не может быть и речи. Зарождение науки вообще началось с возникновения единого, недифференцированного знания, которое справедливо именовалось в древности философией, заключавшей фактически всю совокупность научных представлений. В эпоху расцвета античной (как и более древних китайской и индийской) культуры естественные науки находились в зародышевой стадии.

Правда, первые шаги в этом направлении были сделаны Аристотелем, разделившим природу на три части: мир животный, растительный и минеральный. К последнему относилась вся неживая природа (неорганический мир), в том числе и разнообразные “камнеподобные” продукты жизнедеятельности растений и животных.

Начиная с античного времени и на протяжении всего средневековья, вплоть до начала XVI в., наука о неорганическом мире представляла собой сумму разрозненных, главным образом практических знаний о всех принадлежащих к этой категории видах материи как естественного происхождения (горных породах, землях, рудах, окаменелостях, самоцветах, солях и т. д.), так и искусственных продуктах (различных металлах и сплавах, красках и эмалях и даже стёклах и фарфоре). Объединение всех этих совершенно различных веществ было чисто внешним, основанным непосредственно на практическом их применении. Систематика их была примитивной и неустойчивой, происхождение рисовалось весьма смутно и обычно фантастически. Определённого предмета науки фактически не существовало, — он ещё только намечался; понятия “минерал” (как и самого термина) также ещё не было.

Относительно высокий уровень развития в области познания минералов, пород и прочих неорганических тел в эпоху раннего средневековья был достигнут в странах Арабского Востока и Средней Азии. По сравнению со сведениями древних китайских и античных авторов отмечается существенный прогресс, особенно в изучении свойств минералов, диагностики, добычи и систематики. Однако принципиальных отличий от нарисованной выше общей картины состояния

естественнонаучных знаний здесь, разумеется, не было. Первыми авторами, специально рассматривавшими в своих работах минералы и другие неорганические вещества, были знаменитый иранский алхимик Джабир (721–815), арабский философ и математик Ал-Кинди (800–879) и иранский алхимик и врач Ар-Рази (864–925).

В XI в. значительно более обширные сведения о минералах содержатся в трудах среднеазиатских ученых Ибн-Сины (980–1037) и Бируни (973–1048). Ибн-Сина интересовался геологическими вопросами, а также свойствами минералов и проблемой происхождения минералов и горных пород. Среднеазиатский учёный Бируни написал около 1048 г. обширный трактат по минералогии справочного характера под названием “Собрание сведений для познания драгоценностей”, в котором детально охарактеризовано свыше ста минеральных веществ, заключающих собственно минералы и их разновидности, некоторые горные породы, продукты жизнедеятельности организмов – жемчуг, кораллы, янтарь и искусственные продукты–сплавы, краски, стёкла, фарфор и т.п. Специальное внимание в книге он уделяет свойствам камней, особенно окраске, твёрдости и удельному весу, играющим большую роль в диагностике. Исключительно точно им были определены удельные веса ряда минералов и металлов, мало отличающиеся от современных. Работы Бируни в этом направлении были продолжены почти через сто лет его земляком хорезмийцем Хазини, написавшим в 1121–1122 гг. “Книгу о весах мудрости”. В ней автор показывает важное значение определения точного удельного веса для отличия чистых металлов и драгоценных камней от подделок, для определения характера металлических сплавов, ценности различных монет и т. д.

Последними наиболее крупными работами этого периода с описанием минеральных веществ являются труды азербайджанского ученого М.Насирэддина (1201–1274) и арабского натуралиста З.Казвини (1203–1283). Мухаммед Насирэддин в трактате “Книга о драгоценных камнях” даёт описание 32 минералов с подробной характеристикой многих физических их свойств (цвет, блеск, твёрдость, удельный вес, прозрачность, хрупкость). В книге Захария Казвини под названием “Чудеса мироздания и памятники стран” приводится описание 146 минералов, пород и различных искусственных продуктов с характеристикой их свойств и употребления.

Минералогические работы средневековых учёных Европы носят резкий отпечаток комментариев и подражания древним, преимущественно античным авторам. Во времена господства церкви и застоя научной мысли сведения о минералах фигурируют в так называемых лапидариях, т. е. книгах о камнях. Лапидарий Марбодуса – один из ранних, написанный между 1061 и 1081 гг., в котором упоминается 60 минеральных веществ. В лапидарии доминиканского монаха А.Магнуса (1193–1280) насчитывается уже 96 минеральных веществ. Лапидарий болонского ученого Эразма Стелла (1450– ?) вмещает сведения о 33 минеральных телах. Наиболее обширный лапидарий венецианского физика Камилла Леонарда, опубликованный в 1502 г. под названием “Зеркало камней”, содержит описание 279 минералов и минеральных веществ в алфавитном порядке. Научный уровень характеристики минеральных веществ в лапидариях несравненно ниже описаний среднеазиатских и арабских ученых. Обычно минеральные вещества описываются без какой-либо рациональной системы, и наряду с физическими свойствами перечисляются магические свойства камней. Однако в поздних лапидариях XVI – XVII вв., например, у К.Энцилиуса, А.Чезальпино, А. де Боодта и др., можно обнаружить уже некоторые новые ископаемые, открытые европейскими рудокопами в течение XI–XVI вв., описание свойств, добычи и практического использования минералов.

В целом весь многовековой период накопления знаний о неорганической природе, нашедший отражение в различных трактатах и сводках (лапидариях), вполне логично рассматривать как предысторию минералогии, как период постепенного её зарождения, в конце которого намечается определенная тенденция к ограничению круга её объектов только ископаемыми телами.

Этапы развития минералогии

Возникновение минералогии как науки относится примерно к началу XVI в., когда с появлением и развитием капиталистического способа производства в феодальной Европе резко выросло горнодобывающее дело, увеличились масштабы поисков и разведки различных руд, каменного угля, соли, слюды и других минералов. В результате количество известных по-

лезных ископаемых значительно возросло и одновременно возникла необходимость их определения и детального изучения. Вместе с тем вполне определился и предмет науки. Это была руда (“минера”), или, точнее, более общее понятие, – ископаемое.

В минералогии, которая с эпохи Возрождения всё теснее связывается с бурно развивающимся горным делом, эмпирический метод, стремление к изучению природных фактов постепенно пробивают себе дорогу. Наряду с первыми, ещё в значительной степени умозрительными геологическими гипотезами, изложенными в работах Леонардо да Винчи (1452–1519), а позже в трудах Р.Декарта (1596–1650), Н.Стенона (1638–1686) и Г.Лейбница (1646–1716), возникают более прогрессивные гипотезы происхождения руд и минералов, хотя и те, и другие в известной мере являются повторением передовых взглядов талантливых ученых Востока.

Ценные сведения по морфологии минералов и изучению природных кристаллов были накоплены К.Геснером, И.Кеплером, Н.Стеноном, А.Левенгуком, Д.Гульельмини и др. И.Кеплер (1571–1630) впервые в 1611 г. описал формы шестиугольных снежинок и объяснил их правильным расположением составляющих шарообразных молекул. Н.Стенон в 1669 г. открыл, исследуя кварц, закон постоянства углов, а Д.Гульельмини (1655–1710) распространил в 1688 г. этот закон на кристаллы селитры, каменной соли, квасцов и купороса. К этому же времени относится открытие геометрических законов оптики (В.Снеллиус, Р.Декарт, И.Ньютон) и создание Х.Гюйгенсом (1629–1695) в 1678 г. волновой теории света, с помощью которой он легко объяснил явление двупреломления исландского шпата, установленное в 1669 г. Э.Бертельсеном (1625–1698).

А.Левенгук (1632–1723) в 90-х годах XVII в. наблюдал с помощью изобретённого им микроскопа за ростом и растворением кристаллов. После почти столетнего перерыва, уже в конце рассматриваемого периода, М.В.Ломоносов (1711–1765) и Ж.Б.Ромэ де Лиль (1736–1790) вновь открыли закон постоянства углов, ставший основой для развития геометрической кристаллографии.

Однако внутренняя природа минералов – их химический состав и атомное строение – были почти не известны учёным и не могли найти отражения в их работах. Итак, главная задача первого этапа развития минералогии, составлявшая начальную ступень в области познания ископаемых тел, заключалась в тщательном изучении лишь того, что

было вполне доступно, т. е. внешних признаков минералов. Этому способствовало появление новых методов физического исследования (лупы, микроскопа, а затем прикладного гониометра, эталонов твёрдости и др.), которые, в свою очередь, совершенствовались и делались более точными в процессе применения. В общем активная деятельность учёных была устремлена тогда к изучению и описанию формы и свойств минералов.

Описываемый этап истории минералогии, продолжавшийся примерно с начала XVI до начала XIX в., по своему основному содержанию, степени познания сущности минералов может быть назван *физико-морфологическим*, или просто *физическим*.

В конце его (в последней четверти XVIII в.) в минералогии стало зарождаться *химическое направление*, наиболее ярко проявившееся в трудах А.Кронштедта, М.В.Ломоносова, Т.О.Бергмана и В.М.Севергина. Оно нашло отражение в некоторых классификациях минералов, при их изучении пользовались химическим анализом и методом паяльной трубки. Основоположниками последнего были А. фон Сваб (?) и Т.О.Бергман (1735–1784).

Всё более научную основу приобретают представления о генезисе минералов, а полумистические взгляды У.Альдрованди о симпатии и антипатии минералов окончательно вытесняются учением о смежности (парагенезисе) минералов, развитым В.М.Севергиным. В это же время начинается процесс дифференциации науки: из минералогии по почину А.Г.Вернера выделяется в самостоятельную отрасль знания геология (геогнозия).

Переломный момент, положивший начало новому периоду в развитии минералогии, который по своей главной задаче и основному содержанию следует назвать *химическим*, начался на рубеже XVIII и XIX вв. Он отличался решительным проникновением идей и методов новой, количественной химии в минералогию и дальнейшей дифференциацией науки. В первой четверти XIX в. из старой описательной минералогии выделились как самостоятельные науки палеонтология, кристаллография и петрография. Первая совершенно отошла от минералогии в область геологии, две другие, напротив, были с ней связаны, особенно кристаллография, целиком базировавшаяся на изучении природных многогранников и являвшаяся по существу одним из важнейших направлений и методов исследования в минералогии XIX в.

Переход от качественного к количественному анализу химического состава минералов, который быстро развивался после открытия трёх главных стехиометрических законов химии – закона эквивалентов (И.В.Рихтер), постоянных отношений (Ж.Л.Пруст) и кратных отношений (Д.Дальтон), – позволил когорте замечательных химиков и минералогов за несколько десятилетий детально изучить химический состав большинства известных минералов.

В результате столь активной деятельности был определён точный химический состав свыше ста ранее известных минералов и многочисленных вновь открываемых минеральных видов и разновидностей, общее количество которых за первую половину XIX в. более чем утроилось и достигло почти 450. Особенно много новых минеральных видов было открыто в классах сульфидов, оксидов, сульфатов и силикатов. В ходе анализа минералов ученые за этот период открыли 28 новых химических элементов и определили их атомную массу.

Подъём горной промышленности и поиски новых месторождений руд и минерального сырья, характерные для XIX в., оказали положительное влияние на быстрое развитие минералогии. Однако развитие химического направления в ней и в связи с этим качественный скачок вперёд целиком определялись общим ходом эволюции знаний о природе неорганического вещества вообще, естественным диалектическим переходом от чисто внешнего (физического) его восприятия к познанию внутренней природы – химического состава со всеми особенностями и закономерностями последнего. Поскольку основными (и почти единственными в тот период) объектами изучения неорганического вещества были минеральные индивидуы, то они и подвергались интенсивному и всестороннему химическому анализу. Минералогия и минералоги оказались при этом не просто пассивно втянутыми в русло бурно развивавшейся химической теории, а приняли в ней самое активное и творческое участие. Не случайно, что большинство крупнейших химиков были тогда ведущими минералогами.

Крупнейшим учёным в области химии и минералогии первой трети XIX в. был И.Я.Берцелиус, сочетавший в себе незаурядные способности теоретика и выдающегося экспериментатора, рассматривавшего минералогия как химию неорганических соединений земного шара.

В борьбе со сторонниками динамической теории И.Я.Берцелиус отстаивал и развивал атомистическую теорию Д.Дальтона и достиг

больших успехов, разработав новую, передовую по тем временам электрохимическую теорию химических соединений, базирующуюся на дуалистическом принципе взаимодействия положительной и отрицательной составных частей. Применяв атомную массу, химические знаки (символы) элементов и формулы химических соединений, которые быстро восприняли все передовые минералоги, он в 1815 г. впервые предложил подлинно химическую классификацию минералов. Берцелиус расположил все минералы по электроположительным составным частям, а позже, в 1824 г., после открытия явления изоморфизма, улучшил её, распределив минералы по электроотрицательным элементам и выделив два класса – бескислородные и кислородные соединения. Он первый отнёс минералы, содержащие кремнезём, к солеобразным соединениям и указал на двойственную роль в них алюминия.

Коренная перестройка на строгой химической основе всей предшествующей минералогии, которая, по выражению И.Я.Берцелиуса, “была описью неточно определённых продуктов неорганической природы”, увлекла учёных. Классификация минералов как концентрированное выражение понимания их природы стала перестраиваться. Близкими по содержанию к системе Берцелиуса были классификации минералов: в Германии – Л.Гмелина, во Франции – Ф.С.Бедана, в России – Д.И.Соколова. Более удачными классификациями, в которых была полнее учтена химическая аналогия электроотрицательных элементов и добавлена также в качестве определяющего признака кристаллическая форма минералов, явились схемы Г.Розе (1852) и после ряда усовершенствований – Д.Дэна (1850–1854). Последний выделил следующие классы: 1) самородные вещества; 2) сернистые и мышьяковистые соединения; 3) галоидные соединения; 4) кислородные соединения и 5) органические вещества. В дальнейшем, со второй половины XIX в., химическая классификация минералов Д.Дэна (как и близкая к ней система Г.Розе) стала фактически основной для всех минералогов на долгие годы.

Широко распространились новые методы диагностики минералов, основанные, помимо внешних признаков, на применении паяльной трубки и точного химического анализа. Были изданы специальные руководства по определению минералов, сыгравшие большую роль для диагностики их в полевых условиях. Вслед за первым “карманным” сочинением такого рода в России, каким яви-

лась книга В.М.Севергина “Новая система минералов, основанная на наружных отличительных признаках” (1816), вышли полные определители минералов с помощью паяльной трубки сначала Ю.Гана – И.Я.Берцелиуса (1820), а затем Э.Гаркорта (1827) и К.Ф.Платнера (1835).

В связи с количественными методами анализа в этот период была установлена значительно более строгая, чем прежде, химическая тождественность минералов. Это потребовало изменения представлений К.Линнея и разработки новой формулировки понятия минерального вида и разновидности, которые были даны Р.Ж.Гаюи в 1801 г., а затем И.Я.Берцелиусом, Д.И.Соколовым (1832) и др. Одновременно подвергалось уточнению и общее определение понятия “минерал”, поскольку в результате дифференциации науки из объектов минералогии были целиком исключены все окаменелости и большая часть горных пород.

Точность в химической характеристике минеральных видов, применение совершенных методов измерения в физике явились важными стимулами детального изучения физических свойств минералов, тем более что в XVIII в. в этом отношении был накоплен большой описательный материал.

Изобретение В.Никольсоном в 1787 г. гидростатических весов позволило значительно точнее определять удельные веса минералов. В 1813 г. Л.И.Панснер, основатель Санкт-Петербургского минералогического общества, измерил удельные веса свыше 200 минералов, а также, употребив четырёхступенчатую шкалу твёрдости (алмаз, сталь, медь, свинец), определил твёрдость около 400 минеральных видов и разновидностей. Работу по определению точного удельного веса минералов продолжал затем А.Ф.Брейтгаупт. В 1822 г. К.Ф.Мосс предложил десятибалльную шкалу твёрдости, которая получила повсеместное признание, и всем минералам была дана новая точная характеристика, очень важная для их диагностики. Однако вскоре твёрдость кристаллов минералов начали исследовать более точными склерометрическими методами на специальных приборах, которые были сконструированы А.Зеебеком (1833) и Р.Францем (1850).

В начале XIX в. были заложены также основы кристаллооптики минералов, чему способствовали достижения в области теории света, волновая природа которого нашла окончательное подтверждение в работах Т.Юнга и О.Ж.Френеля, и в области кристаллографии.

После установления Р.Гаюи оптической изотропности кубических кристаллов и Э.Л.Малюсом поляризации света, И.Бернгарди выделил одноосные, а Ж.Б.Био и Д.Брюстер в 1812–1813 гг. обнаружили двуосные минералы. В 1808 г. П.Л.Кордье установил явление многоцветности некоторых минералов, на основе которого Д.Брюстер и Д.Гершель развили учение о плеохроизме. В 1811 г. Д.Ф.Араго обнаружил вращение плоскости поляризации света в кварце, а в 1821 г. Д.Гершель определил зависимость между правыми и левыми формами и направлением вращения. Однако точную связь между симметрией кристаллов и их оптическими (и другими векториальными) свойствами установил в 1833 г. Ф.Э.Нейман, после того как У.Николь использовал в 1828 г. исландский шпат для изготовления призм к поляризационному микроскопу.

Кристаллографическое направление в минералогии после капитальных работ Ж.Б.Ромэ де Лиля и Р.Ж.Гаюи стало успешно и быстро развиваться. Благодаря использованию сначала прикладного, а затем отражательного гониометров получило распространение геометрическое исследование природных кристаллов.

К кристалломорфологическим проблемам минералогии относятся и такие явления, как изоморфизм и полиморфизм, открытые Э.Митчерлихом в 1819–1821 гг., о которых немного знали и раньше, но не обращали надлежащего внимания, поскольку они противоречили авторитетным утверждениям Р.Ж.Гаюи о постоянстве кристаллической формы химического соединения и закону постоянства состава Ж.Л.Пруста. Однако обобщение природных фактов и экспериментального исследования Э.Митчерлиха заставили учёных отказаться от догматического следования упомянутым законам и дать объяснение этим явлениям. Изоморфизм, по Митчерлиху, – это тождественность форм кристаллов, имеющих аналогичный состав и одинаковый способ соединения соответствующих атомов, на основании чего в минералах возможно взаимное замещение аналогичных атомов. Природа полиморфизма оставалась в то время неясной, хотя М.Л.Франкенгейм (1830) и указал на аналогию между точками структурного перехода твёрдых тел и точками их плавления.

Наряду с кристаллографическим направлением в минералогии во второй четверти XIX в. стала принимать вполне определённые контуры и наполняться содержанием самостоятельная наука – кристаллография, объектом изучения которой было кристаллическое

вещество вообще, а не только природные многогранники. С 20–30-х годов XIX в. в высших учебных заведениях она преподаётся отдельно от минералогии.

Примитивные представления о генезисе минералов, господствовавшие в XVII–XVIII вв., в XIX в. также постепенно перестраивались на химической основе. Однако вначале больше обращалось внимания не столько на способы образования, сколько на условия нахождения минералов в природе и особенно на их парагенезис, так как в последнем видели надежное подспорье для практической деятельности горных инженеров.

В России проблемой парагенезиса минералов заинтересовались раньше, чем за рубежом. В книге В.М.Севергина (1798) он упоминается как “смежность” минералов. Однако попытки дать объяснение подмеченным закономерностям относятся уже ко второй четверти XIX в. Так, утверждение, что в основе парагенезиса (и антигенезиса) минералов лежат химический состав и физические условия образования (температура и давление), находим в работах Д.И.Соколова (1842), В.Гайдишора (1845), Г.Х.Фольгера (1854) и др. Большую работу по парагенезису, преимущественно статистического характера, опубликовал А.Брейтгаупт (1849). Существенную роль в понимании генезиса минералов и химической взаимосвязи (преемственности) при замещении минералов сыграли детальные исследования псевдоморфоз А.Э.Делесса и в особенности И.Р.Блюма и Г.Винклера, а также первые экспериментальные работы по синтезу минералов, осуществлённые И.Н.Фуксом (1817), Ф.С.Беданом (1818), П.Бертье, Э.Митчерлихом (1827–1834), Ф.Велером, Ж.Эбельменом и А.С.Бекерелем.

В этот же период появились первые работы и систематические сводки по топографической минералогии различных стран. Перестройка минералогии на химической основе и резко ускорившийся темп её развития (за первую половину XIX в. было открыто и изучено минералов больше, чем за все предшествующие столетия) заметно сказались на росте её популярности в широких научных кругах, что проявилось в сильно возросшем количестве научных публикаций и улучшении её преподавания в высших учебных заведениях. Это было время начала учреждения минералогических обществ и создания новых научных журналов (не только минералогических, но в химических, геологических и др.), существенно способствовавших дальнейшему прогрессу минералогии и тесно связанных с нею наук.

В минералогии во второй половине XIX в. с ещё большей интенсивностью и точностью изучался химический состав минералов с помощью более совершенных аналитических методов. Существенной теоретической и практической подосновой этих исследований стал открытый в 1869 г. Д.И.Менделеевым периодический закон химических элементов, логически завершивший атомно молекулярную теорию и поставивший неорганическую химию на прочный фундамент. Он позволил уточнить величины ранее принятых атомных масс элементов, исправить ошибочные значения валентности некоторых из них и привести в надлежащий вид химические формулы минералов.

Аналитическую работу, значительно расширившую точные сведения о химизме минералов, вели во второй половине XIX в. многие выдающиеся химики в минералогии. К концу XIX в. общее число открытых и изученных минералов (среди которых ещё частично сохранялись скрытокристаллические породы, вулканические стёкла и каустобиолиты) возросло примерно на 200 видов, т. е. в полтора раза по сравнению с 1850 г. Намного увеличилось количество минеральных видов в классе силикатов, изучению которых в тот период минералогии и химики уделяли значительное внимание. Детальный анализ минералов привел к открытию 20 новых химических элементов.

Для открытия новых минералов и всестороннего их исследования много сделали минералогии, которые, продолжая работы начала XIX в. по топографической минералогии, не ограничивались лишь перечнем минералов и указанием парагенетических ассоциаций, а стремились детально изучить и описать их. Особенно широко регионально-минералогические исследования проводились в этот период в Германии, Австрии и Швейцарии. К числу наиболее важных работ относятся “Справочник по минералам Англии и Ирландии” У.Г.Летсома (1858), пятитомная “Минералогия Франции и её колоний” А.Лакруа (1893–1913), “Минералы Испании” С.Кальдерона (1908), “Минералы Японии” Т.Вада (1904), а также меньшие по объёму работы – “Минералы Нового Южного Уэльса” А.Ливерсиджа (1874), “Минералы Перу” А.Раймонди (1878), “Минералы Гренландии” О.В.Бёггильда (1905) и др. Большое количество ценного описательного материала по минералогии США и Канады содержалось в пятом и шестом изданиях “Системы минералогии” Д.Дэна, особенно в многочисленных дополнениях к ним (1868–1892).

Особое место в топографической минералогии занимал одиннадцатитомный труд “Материалы для минералогии России” Н.И.Кокшарова (1853–1892). Помимо общей и химической характеристики минералов, в нём приведены точные данные по угловым величинам около 300 природных кристаллов, которые вошли в фонд минералогической кристаллографии и по существу подготовили почву для первых кристаллохимических обобщений.

Обилие фактического материала по химическому анализу, кристаллографии и свойствам минералов потребовало тщательного его сбора и обобщения, так что наряду с обычными учебниками минералогии появились своды-справочники. Важнейшими из них были “Справочник минеральной химии” и “Справочник по кристаллографической химии” К.Ф.Раммельсберга и “Система минералогии” Д.Дэна, которая вслед за первым выпуском в 1837 г. до конца XIX в. переиздавалась шесть раз, сопровождаясь различными дополнениями. Позже вышли два капитальных издания – шеститомный “Справочник по минералогии” К.Хинце, первый том которого был выпущен в 1898 г., а шестой – в 1939 г. и четырехтомное издание – “Справочник по минеральной химии” К.Дёльтера. Эти справочники содержат все важнейшие сведения о минералах, добытые более чем за столетие, и фактически отражают в обобщённом виде итоги деятельности минералогов в течение химического периода её развития.

Большое значение для прогресса теоретических и генетических представлений минералогии имели также широко развернувшиеся во второй половине XIX в. работы по синтезу минералов. Их цель – выяснить способ образования минералов в природе, изучить влияние условий кристаллизации на форму минералов и на последовательность их выделения из расплава, выяснить химический состав минералов, изоморфные замещения в них элементов и характера химического изменения минералов, а также получить хорошо окристаллизованные индивиды уже известных минералов или пока ещё не обнаруженных в природе соединений для точного изучения их свойств, формы и для заполнения пропусков в классификации. Следует подчеркнуть большое практическое значение синтеза минералов для искусственного получения кристаллов как драгоценных камней и используемых в промышленности материалов.

В области синтеза минералов в то время работало свыше 150 учёных, из которых упомянем лишь самых главных, внесших суще-

твенный вклад в науку. Первые шаги в этом направлении сделали А.Сенармон, С.П.Манрос, А.Добре и А.Э.Сент-Клер Девиль, которые получили различные искусственные минералы при сухих, мокрых и газообразных реакциях. Реакция образования касситерита взаимодействием паров хлорида олова и воды, осуществленная А.Добре, позволила выдвинуть идею о распространении пневматолитового процесса минералообразования. Синтез минералов в условиях, близких к природным, в 1870–90-х годах был осуществлен в многолетних опытах французских экспериментаторов Л.Бурже, А.Горге и П.Г.Отфейля, немецкого минералога К.Дёльтера и финского учёного А.Б.Шультена, которые получили разными путями многие минералы, в том числе и простейшие силикаты. Ж.Марготе (1877), Э.Вайншенк (1890) и Г.Зоммерланд (1897) изучали синтез простых и сложных сульфидов сплавлением их в растворах. А.Муассан и К.Д.Хрущёв работали одновременно над получением искусственного алмаза, а Я.Г.Вант-Гофф (1897–1904) – над кристаллизацией из водных растворов простых и двойных водных хлоридов и сульфатов. Последний установил ряд существенных закономерностей минералообразования в морских бассейнах, которые можно обобщить следующим образом: порядок выделения всех солей является обратным их растворимости, причём образование каждой из них зависит от температуры и концентрации.

Ещё более важными были эксперименты, посвящённые изучению силикатов. Начало точных работ (1876–1888) по превращению силикатов положил русский минералог И.И.Лемберг. Действуя на различные силикаты растворами $MgCl$, KCl , Na_2CO_3 и др. при умеренной температуре, он получал либо родственные силикаты (лейцит из анальцита и наоборот), либо новые минералы (канкринит из каолинита, содалит из нефелина и т.п.). Дальнейшие работы в этой области были осуществлены во Франции Ш.Фриделем (1890–1891), а в России – А.Е.Лагорио (1890–1895), С.И.Тугуттом (1891–1900), П.А.Землячским (1896) и К.Д.Глинкой (1899).

Другое направление в экспериментальном изучении силикатов представили Ф.А.Фуке и А.Мишель-Леви (1878–1891), моделировавшие условия магматических температур. В России это направление развивали И.А.Морозевич и В.И.Вернадский. В отличие от французских исследователей И.А.Морозевич (1891–1898) использовал большие количества исходных веществ, что позволило ему пойти дальше

и получаемые минералы изучить также химически. В.И.Вернадский (1891) доказал исключительную устойчивость силлиманита при высоких температурах и подтвердил это распадом при нагревании многих силикатов алюминия с выделением силлиманита. Изучение минерального состава шлаков дало возможность норвежцу И.Фогту (1888– 1903) выяснить, какую роль концентрация компонентов в расплавах играет в составе и последовательности выделения минералов.

Исследования по синтезу минералов предоставили очень важный фактический материал для построения теории химической конституции минералов вообще и силикатов в особенности. Более строгий и точный физико-химический анализ минеральных систем, возникший на почве этих экспериментальных работ, принёс свои плоды уже в XX в.

В общем развитии познания химической сущности минералов во второй половине XIX в. можно выделить две наиболее важные проблемы – изоморфного замещения элементов в минералах и химического строения силикатов.

Проблема изоморфного замещения элементов в минералах получила развитие в силу широкой распространённости этого явления, установленного многочисленными химическими, а начиная с 1860-х годов и спектральными анализами, а также вследствие различного толкования этого явления, природу которого ещё только начинали постигать. К тому же распространившиеся молекулярные (вместо атомных) представления в химии и минералогии заметно затормозили решение этой проблемы, которой занимались почти все крупнейшие минералоги второй половины XIX в.

Первоначальный вывод Э.Митчерлиха о полной аналогии состава изоморфных соединений (что выражается в близости кристаллографических форм) вскоре был подвергнут сомнению и критике. Так, Ж.Мариньяк (в Швейцарии), Р.Ф.Герман (в России) и Т.Шерер (в Германии) в 60-х годах доказали, что изоморфные смеси могут давать также соединения не аналогичного, а различного химического состава. Изоморфизм такого рода получил название полимерного (гетеромерного – по Р.Герману). Это направление было развито в работах Д.И.Менделеева, Г.Чермака, П.Грота, Я. В.Ретгера и др. Напротив, армянский минералог А.Е.Арцруни считал, как и Митчерлих, необходимой полную аналогию элементов, т. е. принимал лишь

изовалентный изоморфизм, что нашло отражение в его изоморфных рядах элементов.

Идея гетеровалентного изоморфизма оказалась более продуктивной (хотя её сторонники придерживались молекулярных взглядов) и позволила Г. Чермаку изучить химизм важнейших силикатов и алюмосиликатов и на этой основе предложить теорию плагиоклазов в виде изоморфных смесей натриевого и кальциевого полевых шпатов. Однако на почве молекулярных представлений о строении вещества природа изоморфизма не могла быть удовлетворительно объяснена. К тому же терминология в этой области совершенно неоправданно усложнилась. В 1890 г. Я.Г. Вант-Гофф, увлекшись идеей полной аналогии изоморфных смесей с жидкими растворами, назвал первые термином “твёрдые растворы”. В 1891 г. Г.В. Розебом на основе физико-химического представления о фазах предложил для изоморфных смесей наименование “смешанные кристаллы”, чем окончательно усложнил понимание вопроса.

Всё же всестороннее изучение химизма, морфологии и физических свойств изоморфных соединений позволило к концу XIX в. установить некоторые закономерности этого важнейшего и наиболее общего свойства неорганической материи. Было выяснено, что: 1) степень смесимости возрастает с увеличением химической аналогии изоморфных веществ; 2) гранные углы и отношения параметров изоморфных кристаллов, так же, как и их физические свойства, с изменением состава непрерывно изменяются по закону аддитивности; 3) температура повышает степень изоморфной смесимости.

В 1910 г. на основе накопившихся природных фактов и первых обобщений физико-химических исследований проблема изоморфизма в минералогии была изложена по-новому В.И. Вернадским, который вернулся к правильным представлениям Э. Митчерлиха об атомной природе этого явления.

В.И. Вернадский выделил благородные газы, затем С, М, О и Ве как элементы, не дающие изоморфных соединений, а все остальные поместил в таблицу, объединив их в 18 изоморфных рядов, благодаря чему она приобрела практическое значение для минералогов и химиков. Учитывая влияние, которое оказывает на изоморфизм среда минералообразования (физико-химические факторы, время и давление), он детализировал изоморфные ряды, выделив для каждого наиболее характерные термодинамические области существования —

кору выветривания, метаморфическую оболочку и магматическую область. Эта таблица не потеряла своего значения и позднее, хотя теория изоморфизма далеко шагнула вперед.

Проблема строения, или химической конституции, силикатов стала в минералогии одной из главных вследствие сложности их состава и наибольшей распространённости в природе. Разумеется, решение этой задачи в то время, когда атомное строение минералов экспериментально ещё не было доказано и изучено, являлось практически невозможным. Но пытливая мысль учёных стремилась к познанию природы минералов, прибегая для этого к косвенным методам и аналогиям. Это были природные наблюдения и экспериментальные данные об их образовании и разрушении, физические и химические их свойства, а также изучение изоморфных замещений и полиморфных превращений в силикатах. В качестве объектов для аналогии явились быстро развивавшаяся в этот период органическая химия со своими теоретическими представлениями и теория комплексных соединений со структурными формулами, основанными на валентности атомов.

Среди довольно многочисленных и противоречивых попыток построения единой теории химической конституции силикатов наметилось два главных и принципиально различных теоретических направления: алюмоосновное, опирающееся на утверждение, что Al и все другие высоковалентные элементы выступают в качестве оснований, замещая в гипотетических кислотах водород; алюмокислотное, основанное на признании за Al и его аналогами кислотной функции, когда они образуют комплексные кислоты.

Первое направление развивали К.Ф.Раммельсберг, П.Грот и их последователи. Они отделяли кремний по его структурной роли в силикатах от других электроположительных элементов и в достижении простоты, свойственной неорганическим соединениям, были вынуждены допустить существование множества гипотетических кремниевых кислот.

Второе направление, выросшее отчасти из экспериментальных работ И.И.Лемберга и С.И.Тугутта, разрабатывалось В.И.Вернадским и французской минералогической школой. Представители этого направления полностью отождествляли по химической роли Si с Al, B, Fe^{3+} , Cr^{3+} , Ti и Zr, которые якобы образуют вместе с ним алюмокремниевые и другие комплексные кислоты, а также ангидриды и галоидангидриды соответствующих кислот. В основе алюмосилика-

тов предполагалось наличие прочного каолинового ядра (подобного бензольному кольцу в органических соединениях)

Эти противоположные направления, несмотря на гипотетический характер их обоснования, несомненно, явились шагом вперёд в области познания конституции силикатов. Ни одно из них не было полностью верным, но, как показало рентгенографическое изучение структур в дальнейшем рациональные элементы заключались в обоих. Однако алюмокислотная теория оказалась более прогрессивной, и, хотя каолиновое ядро в алюмосиликатах не было обнаружено, представления о кристаллохимической близости Al и B к кремнию (установленной теперь совершенно строго) оказали большую помощь в первых расшифровках структуры алюмо- и боросиликатов.

В состоянии таких коренных вопросов минералогии, как определение понятий “минерал”, “минеральный вид” и “разновидность”, “принцип классификации” и др., следует отметить в этот период не только прогресс, но и заметный разноток. К минералам, несмотря на выделение петрографии и учения о полезных ископаемых в самостоятельные научные отрасли, всё ещё причислялись некоторые горные породы и вулканические стёкла, все каустобиолиты и коллоиды, не только твёрдые тела, но жидкие (а по Вернадскому, также газообразные) продукты природных процессов. Отсюда понятия вида и разновидности также определялись неоднозначно или им вовсе не давались определения. Изоморфные соединения разделялись на виды произвольно, делением ряда на три или более (как в плагиоклазах) части. Помимо основных химических классификаций Д.Дэна и П.Грота, несколько расширившихся за счёт пополнения новыми видами и детализации разделения, появилась отличная от них новая классификация В.И.Вернадского, в которой деление на классы проведено на основе химических функций соединений. Кроме того, были предложены также первые генетические классификации минералов, сначала Г.Росси (1857), а затем А.Лаппарана (1899), не имевшие (как вспомогательные, основанные на частных признаках) существенного значения в науке.

Большие успехи были достигнуты в области изучения свойств минералов, точность измерения которых значительно повысилась, а круг исследуемых свойств расширился. Особенно полно и детально были изучены оптические свойства минералов, чему способствовало усовершенствование поляризационного микроскопа (Э.Бертран,

А.Лазо, К.Клейн, Ф.Бекке) и изобретение и освоение универсального оптического столика (Е.С.Фёдоров, В.В.Никитин). Вслед за установлением строгой связи между оптической индикатрисой и кристаллографическими осями минералов (В.Гайдингер, Ф.Нойман, Ф.Коббель и др.) развернулись работы по их оптической характеристике и выяснению зависимости между оптическими свойствами и химическим составом, особенно важной для изоморфных соединений (М.Шустер, Э.Малляр, А.Мишель-Леви, Г.Н.Вырубов, Ф.Покельс и др.). Детальные микроскопические исследования пороодообразующих минералов, проведённые Г.Сорби, Ф.Циркелем, Г.Розенбушем и Э.Вайншенком, а в России А.А.Иностранцевым, А.П.Карпинским и Ф.Ю.Левинсон-Лессингом, раскрыли невиданные до сих пор возможности в изучении горных пород и способствовали окончательному выделению из минералогии новой науки – петрографии.

В этот период продолжалось изучение твёрдости минералов с помощью склерометров (Ф.Экснер, Ф.Пфаф, В.Пёшль), методами вдавливания (А.Ауербах, И.Бринель) и шлифования (А.Розиваль). Начались также исследования теплопроводности кристаллов (Д.Франц), пироэлектричества (В.Томсон), пьезоэлектричества (П.Кюри), упругих свойств (Ф.Нойман, В.Фойгт), удельного веса (И.Ритгерс) и температуры плавления (Ф.В.Кюстер). Сводку всех свойств природных и синтетических кристаллов на основе их симметрии дали в 1897 г. П.Грот, а в 1910 г. В.Фойгт.

Кристаллографическое направление в минералогии во второй половине XIX в. продолжало бурно развиваться и заключалось главным образом в точном гониометрическом измерении природных кристаллов, обычно в связи с монографическим описанием минералогии различных стран.

В начале XX в. в минералогии завершался химический период её развития. О его особенностях можно судить по определению основных её понятий и связи с другими, смежными и отделившимися от неё родственными науками. Это был сложный и противоречивый этап в минералогии, в котором перекрещивались и сочетались различные направления и подходы к учению о минералах. Среди них выделялись два основных. В одном из них, представленном работами Г.Чермака, П.Грота, Р.Браунса, Е.С.Фёдорова, отчасти П.А.Земятченского, А.В.Нечаева и позже А.К.Болдырева, отстаивался взгляд на минералы как на твёрдые, преимущественно кристаллические составные части

земной коры, важнейшими сторонами природы которых считались химический состав и внешняя форма. При таком подходе, который представлял собой первые шаги кристаллохимического направления в минералогии, главные задачи её усматривались в изучении химического состава минералов, их кристаллической формы и свойств. Вопросы происхождения и изменения минералов отходили при этом на второй план.

Другое направление, возглавляемое преимущественно русскими учёными В.И.Вернадским, А.Е.Ферсманом и Н.М.Федоровским, базировалось на том, что минерал – это прежде всего продукт земных химических реакций в любом фазовом состоянии, протекающих в земной коре. Главной задачей минералогии считалось исследование минералообразующих процессов земной коры, в котором основное внимание обращалось на динамическое изучение последних, а не только на статическое изучение их продуктов.

Первое направление в минералогии опиралось в основном на кристаллографию, которая к этому времени благодаря успешному развитию теории симметрии дисконтинуума и прогрессу в изучении структуры кристаллов становится вполне самостоятельной ветвью физико-математического цикла наук и по-новому влияет на минералогию. В основе второго направления были преимущественно идеи недавно возникшей науки – физической химии и совсем ещё новой ветви геологических наук – геохимии, основоположниками которой были В.И.Вернадский и А.Е.Ферсман.

Вследствие этого не только понятие минерала, но и понятие минерального вида учёными определялось неодинаково, причём при широком (“геохимическом”) определении минерала, по В.И.Вернадскому, вообще нельзя говорить о виде, поскольку минеральные жидкости и газы не образуют индивидов, а без этого понятие вида (как логической совокупности индивидов) не существует.

За основу классификации минералов одни принимали химико-кристаллографический принцип (с дробным делением на группы по составу и подгруппы по сингонии), другие – простой химический принцип, пригодный для всех соединений любого агрегатного состояния. Если к тому же добавить, что несмотря на выделение из минералогии петрографии и учения о рудных месторождениях, к числу минералов в этот период всё ещё относились некоторые моно- и полиминеральные горные породы и руды – мел, мрамор, гипс, боксит, лимонит, а

также каустобиолиты – угли, нефть, асфальт, озокерит и др., то можно представить, как трудно было тогда сформулировать строгое определение основных понятий минералогии или дать удовлетворительную и твёрдую схему классификации минералов.

Так называемые структурные формулы минералов, построенные на валентных отношениях атомов, которыми тогда стали широко пользоваться, были гипотетичны, и каждый крупный минералог предлагал своё начертание формулы минерала, стремясь отразить в ней, как ему казалось, наиболее важные химические функции атомов. По существу, в этих формулах отражались попытки предугадать расположение атомов в составляющих минералы молекулах исходя из косвенных соображений о химической природе этих атомов, а также на основе данных о свойствах минералов и их поведении при разрушении кислотами и при выветривании и изменении в природных условиях. К сожалению, эти структурные схемы были очень далеки от картины истинного расположения атомов в пространстве, но, привлекая своей простотой и наглядностью, они завоевали популярность и вошли во все руководства по минералогии, просуществовав почти до 1940 г. и оказав в конце концов тормозящее влияние на внедрение и утверждение новых кристаллохимических обобщений в этой области, полученных на основе экспериментальных структурных исследований,

Однако первая четверть XX в. прошла в минералогии под знаком полного господства выработанных ещё в конце прошлого столетия представлений молекулярной химии. Вместе с тем за это время были достигнуты весьма значительные успехи в области аналитической химии минералов и особенно далеко продвинулось изучение различных физических их свойств. Был уточнён состав многих старых минералов, преимущественно силикатов с широким изоморфизмом элементов, а также определён состав нескольких сотен вновь открытых минеральных видов. За это период был в основном закончен выпуск самых полных сводок по химической характеристике всех минералов, которые издавались К.Хинце (1898–1939) и К.Дёльтером (1911–1931).

Применение теодолитного приспособления в поляризационном микроскопе и введение в практику иммерсионного метода позволили детально изучить оптические константы минералов (Д.Ван дер Кольк, А.Роджерс, Э.Ларсен), Н.Г.Винчелл и А.Н.Винчелл опубликовали

“Основы оптической минералогии” (1909), а Э.Ларсен (1921) издал “Таблицы для определения прозрачных минералов”, значительно дополненные им через 13 лет вместе с Г.Берманом (1934).

Введение в практику металлографического микроскопа дало возможность столь же полно изучить оптические и многие другие свойства непрозрачных рудных минералов (Д.Мердок, У.Деви, И.Фарнэм, Ф.Ю.Райт, Г.Шнейдерхён, П.Рамдор, Ж.Орсель, И.Ф.Григорьев, М.Н.Шорт и др.) и сделать вскоре этот метод (подобно иммерсионному методу для прозрачных минералов) могучим средством для их определения и изучения в полированных шлифах.

Развитие геофизических методов разведки полезных ископаемых и применение различных способов обогащения при извлечении руд потребовали детального изучения и точного определения (измерения) удельного веса, магнитных, электрических и флотационных свойств минералов. Массовая механическая обработка металлов и сплавов привела к возникновению интереса к пластическим свойствам кристаллов. По аналогии с изучением твёрдости металлов методом И.А.Бринеля американцы Р.Смит и Г.Сандланд в 1922 г. ввели в минералогию микротвердометр с индентером в виде квадратной алмазной пирамиды, который впоследствии стал основным прибором для точного измерения твёрдости минералов.

Далеко вперёд продвинулось генетическое направление в минералогии, особенно изучение парагенезиса минералов. В значительной мере это было достигнуто благодаря работам петрографов по изучению минералогического состава горных пород (Ф.Ю.Левинсон-Лессинг, Д.С.Белянкин, П.Ниггли, В.Н.Лодочников, П.Эскола и др.) и специалистов по изучению минералогии гидротермальных месторождений (Д.Ф.Кемп, В.Линдгрэн, В.Эммонс и др.) и пегматитовых (В.К.Брёггер, И.Г.Фогт, А.Лакруа, А.Е.Ферсман и др.). На основе макро- и микроскопических наблюдений взаимоотношений минералов тщательно изучались вопросы последовательности их образования и парагенетические сочетания в основных минералообразующих процессах. Постепенно теоретические соображения о генезисе минералов получили физико-химическое обоснование (И.Г.Фогт, П.Ниггли, В.М.Гольдшмидт).

В 1909 г., развивая представления А.Брейтгаупта, австрийский минералог Ф.Корню исследованиями в области природных коллоидов положил начало физико-химическому изучению весьма распро-

странённых коллоидно-дисперсных минеральных агрегатов – новой области минералогии, которой во второй четверти XX столетия суждено было выделиться в самостоятельную ветвь науки.

Но одновременно с описанными изменениями в минералогии в первой четверти XX в. на её материале понемногу и вначале незаметно шла другая чрезвычайно важная работа по изучению внутреннего строения вещества, основанная на результатах двух великих открытий в физике, происшедших на рубеже столетий. Это обнаружение В.Рентгеном в 1895 г. X-лучей и установление В.Фридрихом и П.Книпингом в 1912 г. предсказанного М.Лауэ явления дифракции этих лучей в кристаллах. Огромное значение имели вывод основной формулы дифракции рентгеновских лучей (формула Брэгга–Вульфа) и экспериментальное обоснование Г. и Л.Брэггами закона отражения их от систем атомных плоскостей кристаллов. На этой основе стало возможным определение структуры кристалла, точное измерение параметров элементарной ячейки в бесконечной кристаллической решетке, а, следовательно, и межатомных расстояний. Было установлено, что такое, казалось бы, весьма отвлечённое, сугубо умозрительное геометрическое построение, каким представлялся большинству учёных вывод Е.С.Фёдоровым и А.М.Шенфлисом 230 пространственных групп симметрии, получило не только реальное подтверждение, но и стало, как ещё раньше предсказывал П.Грот, основным законом современной кристаллографии дисконтинуума, без которого сейчас не может обойтись ни один исследователь структуры кристаллов.

Основной вклад в изучение структуры кристаллов после Г. и Л.Брэггов на этом начальном этапе был сделан Дж.Уэстом, Р.Уайковым, Л.К.Полингом, Б.Э.Уорреном, Г.Менцером, У.Тейлором, В.Захариасеном, Ф.Махачки, Б.Госнером, И.Нарай-Сабо и др. Вслед за изучением структуры простых веществ бинарных соединений главное внимание этих исследователей было обращено на изучение строения силикатов – самого обширного и проблематичного в структурном и химическом отношениях класса минералов. В течение пяти лет (1925–1930) строение всех наиболее важных силикатов было расшифровано. Это позволило минералагам одними из первых проникнуть в тайну строения кристаллического вещества сложного состава и на этой основе приобщиться к идеям новой – рентгеновской кристаллохимии, в корне изменившей многие казавшиеся фундамен-

тальными представления о химизме, и в особенности о гипотетической конституции минералов.

Главнейший вывод из рентгеноструктурного анализа минералов – это установление не молекулярного, а атомного (ионного) их строения, в котором каждый атом (или катион) закономерно окружен другими атомами (или анионами) образуя координационные (катион-анионные) многогранники различной формы. Последние, определённым образом соединяясь друг с другом в пространстве, составляют непрерывную периодическую систему материальных частиц кристаллического тела.

За исключением металлических кристаллов и соединений типа алмаза, составляющие всех остальных кристаллов считались ионами – простыми, как, например, K^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} , Si^{4+} и т. п., и сложными, связанными в радикалы, – $[CO_3]^{2-}$, $[SO_4]^{2-}$, $[PO_4]^{3-}$ и т. п. Вскоре были определены размеры строительных частиц кристаллов: сначала радиусы атомов, а затем ионные радиусы. Это сыграло огромную роль в дальнейшем развитии теорий изоморфизма, полиморфизма, морфотропии и теории свойств кристаллов.

Наряду с Л.Брэггом, П.Ниггли и Л.Полингом, значительная роль в становлении основ новой кристаллохимии принадлежит В.М.Гольдшмидту. Он первый определил задачи кристаллохимии как науки, устанавливающей закономерные связи между кристаллической структурой и химическим составом вещества, проявляющиеся в их свойствах, а также дал первоначальную формулировку основного закона кристаллохимии: “...кристаллическая структура какого-либо вещества обуславливается числом, величиной и поляризационными свойствами его структурных единиц, каковыми являются атомы, ионы или группы атомов”.

На основе “рефрактометрических” радиусов ионов фтора и кислорода, вычисленных И.Вазашерной в 1923 г. В.М.Гольдшмидт в 1926 г. определил радиусы подавляющего большинства ионов распространённых элементов, которые впоследствии легли в основу всех дальнейших теоретических выводов по структуре и свойствам кристаллов. Вслед за геометрическими соображениями А.Магнуса о структуре молекул В.М.Гольдшмидт дал более строгое сферическое обоснование границ устойчивости координационных чисел ионов на основе отношения их радиусов. Продолжая исследования Х.Г.Гримма по изоморфизму элементов в кристаллах, В.М.Гольдшмидт развил

дальше учение об изоморфном замещении элементов и установил основные критерии, определяющие степень совершенства и границы изоморфизма, особенно подчёркивая при этом влияние поляризации ионов. Он систематически изучал морфотропические переходы между важнейшими типами структур бинарных соединений, наметил для них примерные границы отношений радиусов ионов и выделил координационные, слоистые, комплексные (островные) и молекулярные решётки. В.М.Гольдшmidt (1937) сделал попытку вывести кристаллохимическую формулу твёрдости минералов, а также одновременно с другими учёными разработал принципы общей кристаллохимической систематики силикатов.

Большую роль в обновлении и перестройке минералогии на кристаллохимической основе в 1930–1940 гг. сыграли работы А.Е.Ферсмана. В ряде статей, в четырехтомной “Геохимии” он, как и В.М.Гольдшmidt, развивал новые представления о составе и строении минералов, опираясь на размеры, валентности и другие свойства атомов и ионов. На основе электростатического уравнения энергии кристаллической решётки А.Ф.Капустинского А.Е.Ферсман вычислил энергетические коэффициенты (эки и вэки) катионов и анионов и ввёл, таким образом, энергетическое направление в кристаллохимию, успешно применив его для анализа твёрдости и других свойств минералов, для решения вопроса о последовательности их кристаллизации и законах парагенезиса в различных процессах. Он подметил и обосновал условия полярности изоморфного замещения элементов, вскрыл некоторые важные закономерности в природе окраски минералов и тетраэдрической координации ряда элементов, особенно много сделал в области выяснения генезиса пегматитовых минералов.

Как же отразились данные кристаллохимической теории и рентгеноструктурного анализа на развитии минералогии? Каково их влияние на неё и в чём его сущность?

Это влияние на современную минералогию оказалось столь же огромным и важным, как точное определение химического состава минералов на рубеже XVIII и XIX вв. Начиная с первой четверти XX в. природа минерала познаётся уже не односторонне (химически), а в целом, т.е. в единстве и взаимообусловленности его состава и строения. С этого момента наступает новый, кристаллохимический период в истории минералогии, ознаменовавшийся резким переломом в её развитии.

Оценивая значение рентгеноструктурного анализа и его первых результатов для минералогии, В.И.Вернадский писал: “Это одно из величайших открытий точных наук быстро сдвигает минералогию на новый путь и открывает перед ней негаданные огромные перспективы... Исходя из этого эмпирического обобщения, можно с уверенностью утверждать, что будущее вступившей на этот путь минералогии чревато величайшими последствиями. Всё истекшее десятилетие в минералогии находится под влиянием и впечатлением этого открытия. Сейчас идёт энергичная переработка всего научного материала и приспособления его к новым представлениям... Уже добыто огромное количество измерений, весь облик минералогии изменяется до неузнаваемости”.

Рентгеноструктурный анализ давал возможность не только определять атомную структуру минералов, но в первую очередь вычислять параметры их кристаллической ячейки, являющиеся характеристическими, сменившими так называемые топические оси, введенные в конце XIX в. Ф.Бекке, В.Мутманом и А.Э.Таттоном. Изучение структуры и определение параметров ячейки минералов, начавшиеся с 1913 г., развивались небывалыми темпами. Уже к 1926 г. структуры подавляющего большинства простых веществ и бинарных соединений были расшифрованы, а к 1930 г. определены структуры важнейших силикатов. С 1930 по 1940 г. было изучено строение многих более редких силикатов и минералов других классов.

Новый импульс исследование структуры минералов получило после второй мировой войны, причем, на арену, помимо западноевропейских и американских структурных школ выдвинулись советская и японская кристаллохимические школы. В этот период (1945–1960) были определены структуры таких сложных алюмосиликатов, как лосопит, ильваит, эпидот, цоизит, турмалин, диоптаз, миларит, гадолинит, осумилит, биотит, эпидидимит и др.; структуры кальциевых и марганцевых силикатов – куспидина, тиллеита, волластонита, ксонотлита, родонита, пироксмангита, ловенита, ниокалита, сейдозерита, гиллебрандита, ловозерита и др., а также строение сложных минералов других классов – кальцинита, малахита, кетнерита, людвигита, еремеевита, суанита, буры, пробертита, ланаркита и многих других минералов

Установление кристаллической природы минералов ещё более обнажило резкую противоположность между ними и аморфными

веществами, коллоидно-дисперсными минеральными агрегатами, жидкими растворами и другими природными гетерогенными минеральными телами, входившими ранее в объём понятия “минерал”, подчеркнув тем самым нерациональность дальнейшего их объединения в рамках минералогии. Большой накопленный фактический материал по всем объектам, разработка специальных методик и постановка принципиально различных практических задач привели к дальнейшей дифференциации минералогии на этом этапе и ответвлению от неё ряда новых научных отраслей, в большинстве тесно с нею связанных.

Помимо геохимии, которая возникла на базе минералогии раньше других как атомная химия земной коры, выделились сначала гидрохимия и учение о каустобиолитах (угле и нефти), а несколько позднее, в 40-х годах—наука о природных коллоидах, так называемая коллоидно-дисперсная минералогия, особенно её практически наиболее важная часть — минералогия глин, охватывающая преимущественно дисперсные слоистые силикаты.

Дифференциация минералогии и выделение из числа её объектов ряда некристаллических минеральных веществ и тонкодисперсных минеральных агрегатов вызвали необходимость изменения определения понятия минерала и приведения его в соответствие с новым содержанием. Основным признаком в новых определениях понятия минерала выступает твёрдое, кристаллическое его состояние, воплощением которого является природный кристаллический индивидуум.

Углубление теоретических представлений об изоморфизме элементов и обилие новых фактических данных, свидетельствующих о широком распространении его в минеральном мире и обуславливающих наличие многих химически непрерывных серий, потребовали пересмотра старого определения понятия минерального вида, уже не отражающего к тому времени истинной сущности минералов. Ещё в 1927 г. Н.Г.Винчелл и А.Н.Винчелл впервые высказали мысль, что “минеральный вид” должен включать все индивиды аналогичного строения, которые связаны с непрерывностью в изменении химического состава. Позже аналогичные, но более строго обоснованные определения были предложены П.Ниггли, В.С.Соболевым, Э.Брандербергером и Ж.Орселем. Но наиболее последовательным в этом отношении оказался А.Н.Винчелл, который предложил новые названия для некоторых минеральных видов с совершенным изомор-

физмом элементов, построил для них специальные диаграммы непрерывно изменяющихся свойств, что, однако, шло в разрез с общепризнанными, привычными взглядами и среди большинства минералогов до 1950-х годов не получило единодушного признания.

Расшифровка структур минералов выявила специфические типы пространственной связи атомов или их комплексов в виде островных, цепных, слоистых, каркасных и других структур и представила в ином свете сложную и запутанную химию силикатов и алюмосиликатов. Это явилось толчком к созданию новой, подлинно кристаллохимической классификации сначала только структурно изученных силикатов.

В результате рентгеноструктурного анализа силикатов было установлено, что амфотерный алюминий играет в них двойственную роль, выступая в одних условиях как основной (в 6-й координации) и образуя силикаты Al , а в других – как кислотный радикал–заместитель Si (в 4-й координации), образуя алюмосиликаты. Таким образом, противоположные и взаимоисключающие теории П.Грота и В.И.Вернадского оказались двумя сторонами единой, более общей кристаллохимической теории силикатов. Алюмокислотная теория В.И.Вернадского, верная лишь по отношению к подлинным алюмосиликатам (хотя никакого каолинового ядра в них не было обнаружено), оказала положительное влияние на работы по рентгенографической расшифровке структур некоторых алюмосиликатов в самом трудном, начальном периоде развития этого метода.

Определение внутреннего строения минералов открыло также новые возможности для познания свойств минералов, установления зависимости последних не только от их состава, но и от структурных особенностей. Так, в 1932–1934 гг. Л.Брэгг и Э.Шибольд дали новое объяснение оптических свойств силикатов. Затем Э.Шибольд и М.Шепел выяснили основные причины спайности и степени её совершенства. В 1926 г. В.М.Гольдшмидт и несколько позже А.Е.Ферсман установили некоторые кристаллохимические факторы, определяющие твёрдость минералов. В 1950 г. Х.Винклер связал с кристаллохимическими особенностями тепловые и механические свойства. Кристаллохимическая интерпретация некоторых свойств минералов была дана также в 1945–1949 гг. Н.В.Беловым и В.С.Соболевым.

Несмотря на самостоятельное развитие кристаллографии и естественное некоторое её отдаление от минералогии в конце XIX в.,

в рассматриваемый период на почве изучения внутреннего строения минералов проявляется заметная интеграция этих наук. Характеризуя этот процесс, можно повторить слова В.И.Вернадского, что “кристаллография не отделилась от минералогии, но охватила её по-новому, проникла в её самые основные построения, коренным образом их изменила”.

Поскольку предметом изучения современной минералогии являются лишь природные кристаллы, прежние связи её с кристаллографией (которые, кстати, никогда не прерывались) стали ещё более укрепляться, и даже говорят о новом разделе последней – о “минералогической кристаллографии”. Развивалась она в определённой последовательности. Вначале был период главным образом морфологической кристаллографии, в течение которого изучалась симметрия правильных (идеальных) многогранников в согласии с фёдоровской идеей определения минералов и синтетических кристаллов по их форме. Причём в СССР, Германии и отчасти во Франции курс кристаллографии отделен от минералогии и имеет самостоятельные пособия, тогда как в США, Англии и Италии он даётся вместе с минералогией в едином учебнике.

С 1935 г. начинается дальнейшее развитие теории симметрии многогранников, которое осуществляется почти исключительно усилиями советских учёных. Так, А.В.Шубников (1935) указывал на кристаллографическое различие пяти геометрических тождественных форм куба, а Г.Б.Бокий (1940) на этом основании из 47 простых форм вывел 193 кристаллографических их аналога. Продолжая это направление, И.И.Шафрановский (1948) вывел 1403 структурные разновидности тех же простых форм, различающихся по симметрии пространственных групп. Далее, переходя от идеальных плоскогранных форм кристаллов к реальным индивидам минералов, И.И.Шафрановский и В.И.Михеев (1961) развили учение о вершинах, рёберных и гранных формах, охватывающих все разновидности положительных и отрицательных, а также кривогранных кристаллов (скелетные формы, формы растворения, двойники прорастания и т. п.). Это учение в известной степени дополняется учением В.И.Михеева (1961) о гомологии кристаллов, значительно расширяющим прежние понятия о симметрии.

Одновременно с минералогической кристаллографией успешно развивалась структурная минералогия (кристаллохимия минералов), возглавляемая в СССР Н.В.Беловым, в США – Д.М.Бюргером, в Япо-

нии – Т.Ито, в Канаде – Л.Г.Бери, в Швейцарии – В.Новацким. Однако основной вклад в эту область безусловно внес Н.В.Белов, который, начиная с 1950 г., в своих “Очерках по структурной минералогии” систематически анализировал структурные особенности отдельных минералов и минеральных групп в связи с их составом, свойствами и морфологией, закладывая новые кирпичи в фундамент современной минералогии.

Генетическое направление в минералогии, сложившееся ещё в начале XX столетия (Вернадский, 1908), не оказало на её развитие столь существенного влияния, как кристаллохимическое. И это вполне естественно, так как в генетическом подходе к изучению минерала не раскрывалась какая-либо новая сторона его природы, а выяснялись лишь условия его образования и пределы устойчивости, т.е. законы многосторонней и сложной зависимости минерала и окружающей его естественной физико-химической среды. Поэтому в генетическом направлении сразу наметились два разных подхода: парагенетический и морфогенетический.

С позиции первого минералы рассматривались в естественной совокупности, которая определялась соотношением тех или иных компонентов в условиях определенных значений давления и температуры, что во многих случаях можно было контролировать путем эксперимента. Этот подход оказался весьма продуктивным, представляя собой совершенно новый аспект в решении проблемы генезиса минералов. Но поскольку минеральные совокупности (парагенетические ассоциации) были объектами, с одной стороны петрографии, а с другой – учения о рудных месторождения, их исследовали в рамках смежных с минералогией геологических наук. Это были прежде всего петрологи И.Фогт, Ф.Ю.Левинсон-Лессинг и А.Н.Заварицкий, В.М.Гольдшмидт, П.Ниггли, П.Эскола и в особенности Д.С.Коржинский, который в своих фундаментальных работах по парегенезису минералов магматических и метаморфических пород не только применил, но и глубоко развил теоретические основы физико-химического метода парагенетического анализа минералов. Заметный вклад в изучение парагенезиса рудных минералов внёс А.Г.Бетехтин.

В морфологическом подходе внимание минералогов фиксировалось на минеральном индивиде, на тонких деталях, запечатлевших особенности его зарождения, роста и изменения. Этот онтогенетический метод изучения “жизни” минералов, начало которому

было положено ещё в XIX в., позволял восстанавливать на основе точных наблюдений постепенный ход развития минерального индивида и, таким образом, давал возможность судить об условиях его формирования. В этом направлении много сделали Г.Г.Леммлейн, И.И.Шафрановский, Г.Н.Вертушков, Д.П.Григорьев, А.Г.Жабин и многие другие.

К онтогенетическому методу тесно примыкают очень важные минералотермометрические исследования. Этот новый метод исследования возник в конце первой половины XX столетия, цель его – изучение газовой-жидких включений в минеральных индивидах, химического состава этих включений и температуры их гомогенизации. Большой вклад в его развитие был сделан Н.П.Ермаковым, Ф.Г.Смитом, А.И.Захарченко, Ю.А.Долговым, В.А.Калюжным и др. Разработанная методика исследования позволяет с большой степенью точности восстанавливать для каждого минерального индивида химический состав среды и физико-химические условия периода его образования.

Начало второй половины XX столетия отмечается заметными сдвигами в кристаллохимии и соответственно в минералогии – переходом их на новый, более высокий уровень развития. Сложившиеся ещё в конце 20-х годов основные положения теории кристаллохимии теперь подверглись серьёзной критике. В первую очередь это коснулось концепции чисто ионной связи в соединениях и вытекающего отсюда принципа Магнуса – Гольдшмидта (Б.Ф.Ормонт, П.В.Грушвицкий, В.И.Лебедев, А.С.Поваренных). В результате поляризационные представления в кристаллохимии заменяются концепцией электроотрицательностей (У.С.Файф, Г.Рамберг, Р.Сандерсон, А.С.Поваренных, С.С.Бацанов и др.), позволяющей приближённо оценивать долю ковалентной связи в промежуточных (ионно-ковалентных) соединениях, к которым принадлежит большинство минералов. Использование данных о состоянии химической связи в совокупности с другими кристаллохимическими факторами и учётом особенностей строения электронных оболочек атомов позволяет значительно глубже понять и точнее истолковать закономерности строения и свойств минералов. Благодаря этому была дана более точная формулировка основного закона кристаллохимии, уточнены факторы, определяющие изоморфизм элементов в минералах, раскрыта природа многих свойств последних. Для таких свойств, как плотность и твёрдость,

установлена строгая математическая связь с кристаллохимическими параметрами минералов, позволяющая вычислить по ним величины этих свойств и, наоборот, по свойствам получать общую информацию о деталях структуры ещё не изученных минералов.

Другое направление успешного развития – это структурная минералогия, сделавшая скачок вперёд на основе применения новых (“прямых”) методов рентгеноструктурного анализа. На протяжении нескольких лет было расшифровано строение большинства сложных силикатов с крупными катионами и открыто много совершенно новых (по сравнению с “классическими”) типов островных, кольцевых, цепных, слоистых и каркасных структур. На этой основе были выявлены новые закономерности во взаимодействии катиона с кремнекислородными радикалами в виде активного влияния размеров первых на форму и расположение последних, а также установлены гетерогенные, преимущественно слоистые и каркасные кремнекислородные структуры с Be, Ti, Zr, позволяющие вновь, но уже на новой основе, вернуться к представлениям В.И.Вернадского о боро-, титано- и цирконосиликатах и т.п. Фактически сделан следующий крупный шаг (“вторая глава”, по Н.В.Белову) в структурной минералогии силикатов, в котором практический и теоретический вклад советской кристаллохимической школы под руководством Н.В.Белова является основным. В этот же период были предложены более совершенные схемы классификации минералов, базирующиеся на парагенетическом и кристаллохимическом принципах, под различным углом зрения и с различной степенью полноты отражающие достижения теоретической мысли в современной минералогии.

Таким образом, *кристаллохимический этап* развития минералогии, ставящий главной задачей изучение закономерностей атомного строения минералов, выступает качественно новой ступенью знаний об их природе. На наших глазах совершается активная перестройка всех ещё недавно казавшихся незыблемыми представлений о химизме и свойствах минералов, о понятии минерала и минерального вида, о классификации и номенклатуре минералов. Произошли колоссальные изменения в теоретическом фундаменте минералогии, и ещё большие изменения произойдут в ближайшем будущем, когда на помощь рентгеноструктурному и электронографическому методам анализа придут методы электронного и ядерного парамагнитного резонанса.

Классики науки о кристаллах и минералах

Продолжая ретроспективный анализ минералогии, есть смысл персонифицировать вклад в её развитие выдающихся минералогов и кристаллографов.

Одним из основоположников науки о минералах и горных породах был *Георг Агрикола (1494-1555)* – немецкий врач, металлург и натуралист. Агрикола долгое время работал врачом в г. Яхимове (Чехия) и в г. Хемнице (Саксония), в самом центре горно-рудной и металлургической промышленности Европы, занимался также минералогией и металлургией. Первая его работа “Берманус, или диалог о металлургии”, напечатанная в 1530 г. в Базеле, получила одобрение Эразма Роттердамского. Большой труд Агриколы “О природе ископаемых” (1546) – один из наиболее ранних, посвящённых специально минералогии. К нему примыкает вышедшая в том же году работа “О происхождении минералов”. Агрикола описал 20 новых минералов и установил методы определения их по внешним признакам, которые затем широко и успешно использовались А.Г.Вернером и М.В.Ломоносовым.

Он также изучал лечебные свойства металлов и минералов. Геометрический подход Агриколы к изучению морфологии минералов получил впоследствии большое развитие. И.И.Шафрановский отмечал: “Согласно современной терминологии, Агрикола обращал внимание на “облики” и “габитусы” кристаллов, т.е. на то, что прежде всего бросается в глаза при рассмотрении окристаллизованных минералов. Предельно упрощенные описания давали возможность горнякам сразу же (на глаз) узнавать наиболее обычные минералы (в дальнейшем такой геометрический подход, основанный на изучении внешних признаков минералов, получил широкое развитие в трудах известного саксонского минералога А.Г.Вернера и его последователей)”.

В трудах Агриколы, в особенности в его основной работе



“О горном деле и металлургии” (закончена в 1550 г., впервые опубликована на латинском языке в 1556 г.) содержатся начала технологической минералогии. Здесь обобщены технологические приёмы получения кристаллических осадков (поваренная соль, сода, селитра, квасцы, медный и железный купорос), согласно общей идеи Агриколы о минералах как “загустевших соках” Земли.

Г. Агрикола связывал образование рудных минералов в жилах (как и самих жил) с действием подземных вод и циркуляцией особых “соков”, опираясь в своей гипотезе на фактические наблюдения. Он разработал более подробную, чем Ибн-Сина, классификацию минералов, основанную на физических свойствах. Важной особенностью её является разделение минеральных веществ на гомогенные минералы и минеральные агрегаты, среди которых выделяются грубозернистые, легко распадающиеся на составные части, и мелкозернистые плотные агрегаты.

Важное направление минералогических исследований Г. Агриколы, наряду с описанием ранее известных свойств минералов – цвета, блеска, прозрачности, удельного веса, твердости, хрупкости, запаха и вкуса, – выявление новых свойств не только минеральных индивидов, но и минеральных агрегатов, которые он использует для построения своей классификации. К этим свойствам относятся форма, внешний вид, спайность, растворимость, плавкость, а для агрегатов ещё и текстура, рыхлость, компактность, жирность и сухость. Важные данные о свойствах минералов и руд, об их добыче, технологии и выделении из них металлов собраны в многотомной “Пиротехнии” итальянского ученого В. Бирингуччо (1480-1539), современника Агриколы.

Значителен вклад в разработку основ минералогии и кристаллографии (а также стратиграфии и палеонтологии) датского натуралиста *Николая Стенона* (1638-1686). Стенон получил медицинское образование в Копенгагенском университете и впоследствии сделал ряд крупных открытий в различных отраслях естествознания и медицины.

Блестящая научная деятельность Стенона была прервана пострижением в монахи, что не позволило ему завершить, в частности, труды в области минералогии и кристаллографии. Яркую характеристику Стенону дал В.И. Вернадский: “Блестящий анатом, сделавшийся знаменитым почти юношей, один из первых исследователей мозга, обладавший чрезвычайно широким научным образованием, Стенон

работал с исключительной энергией в области геологических и органических наук о природе. Среди его работ в душе его зародились глубокие сомнения: перед ним с необыкновенной ясностью стала тщета точного знания; с ним произошёл перелом, очень напоминающий душевную драму Паскаля. Он сознательно бросил занятия наукой, перешел в католичество, стал монахом и окончил жизнь в исключительно суровой и нищенской обстановке католического миссионера среди чуждого и враждебного ему протестантского населения Германии. Перед этим переломом он издал программу сочинения, поручив своему ученику Г.Якобэусу докончить и издать собранный им большой материал для полной работы. Этот труд никогда не увидел света. В этой работе Стенон впервые точно и определённо высказал закон постоянства углов и указал характер роста кристаллов послойным наложением частиц”.

В области минералогии и кристаллографии Стеноном были открыты общие закономерности образования кристаллов в природе (то, что теперь относят к онтогении минералов). Стенон первым обратил внимание не только на геометрию кристалла, но и на влияние кристаллообразующей среды, и многие положения его знаменитого трактата “О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом” (1669) оказались актуальными при разработке проблем кристалломорфологии и кристаллогенезиса.

С именем Стенона связывают открытие основного закона геометрической кристаллографии – закона постоянства углов на кристаллах: углы между соответствующими гранями и рёбрами во всех кристаллах одного и того же вещества постоянны. Сущность и формулировки этого закона были затем уточнены М.В.Ломоносовым и в особенности Ж.Б.Ромэ-Делилем. Долгое время, вплоть до XX в., кристаллография развивалась, основываясь преимущественно на этом законе. В труде Стенона можно различить истоки столь важных для минералогической



кристаллографии представлений об индукционных поверхностях, образующихся при совместном росте кристаллов; о типоморфизме природных кристаллических форм; о росте кристаллов за счёт новых слоёв вещества, откладывающегося на кристаллических гранях. Последнее – открытие послойного нарастания кристаллов, проиллюстрированное замечательными зарисовками, основанными на тонких наблюдениях, – имело особенно большое значение для последующего развития минералогического знания. Этот закон был зафиксирован в четырех тезисах:

- кристалл растёт до тех пор, пока новое кристаллическое вещество присоединяется к внешним плоскостям уже первично образовавшегося кристалла;
- это новое вещество кристалла присоединяется не ко всем плоскостям, но по большей части только к одним плоскостям вершины или к конечным плоскостям;
- кристаллическое вещество не присоединяется одновременно и в одинаковом количестве ко всем конечным плоскостям;
- кристаллическое вещество не покрывает целиком всегда всю плоскость, но иногда остаются свободные места по направлению к сторонам и иногда к середине плоскости.

Уже два крупных открытия Стенона – закон постоянства углов на кристаллах и закон послойного нарастания граней кристаллов –

позволяют квалифицировать его вклад в развитие минералогии и кристаллографии как основополагающий, существенно отразившийся на дальнейшем развитии этих дисциплин. Эти открытия были дополнены его многочисленными замечательными наблюдениями над природой кристаллических тел.



Родоначальником отечественной минералогии как науки является *Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765)*. Первой порученной ему Петербургской академией наук работой было

составление каталога минералогических коллекций, начатого академиком И.Г.Гмелиным. Этот каталог, содержащий описания 3030 минералогических образцов на латинском языке, вышел в свет в 1745 г. Материалы каталога были использованы Ломоносовым при написании таких крупных работ, как “Первые основания металлургии” (заключена в 1742-1743 гг., опубликована в 1763 г.) и “О слоях земных” (второе “прибавление” к “Первым основаниям металлургии”). В этих трудах наряду с минералогическими описаниями было развито учение о генезисе минералов. Ломоносов заложил основы учения о парагенезисе минералов и поисковых признаках руд и других полезных ископаемых. Прогрессивным было применение Ломоносовым при истолковании геологических и минералогических процессов идей физики и химии, в частности корпускулярной теории. Исключительное внимание его к практической направленности научных исследований дало возможность поставить вопрос о синтезе минералов, развить начала экспериментального метода в минералогии.

Незадолго до смерти Ломоносов разработал грандиозный проект “Российской минералогии”, который не был им осуществлён, но всеми крупнейшими русскими минералогами от В.М.Севергина до А.Е.Ферсмана рассматривался как необходимейший труд по топоминералогии, который может быть реализован лишь многими поколениями минералогов.

Составляя минералогический каталог, Ломоносов обратил внимание на форму минералов, что побудило его заняться кристаллографией. Он – прямой предшественник Ж.Б.Ромэ-Делиля, утвердившего в кристаллографии закон постоянства углов. Причём Ломоносовым были сделаны попытки связать сущность этого закона с внутренним корпускулярным строением кристаллических тел. Развиваемое им представление о кристаллических формах минералов как характерных диагностических признаках давало горнякам того времени точный способ распознавания рудных ископаемых. Вполне определены взгляды ученого и на кристаллическую структуру. Он впервые обратил внимание на роль плотнейших шаровых упаковок, пытаясь установить связь между морфологией кристаллов и их структурой. В зависимости от строения кристаллов он определял такие их свойства, как твёрдость и удельный вес. И хотя судьба трудов Ломоносова по минералогии и кристаллографии сложилась неудачно (ценность многих из них была признана спустя десятилетия), есть все основания

считать его родоначальником этих наук в России. Многие его начинания, планы и прогнозы стали путеводной звездой для нескольких поколений минералогов.

Глубокий след в истории минералогии оставили труды немецкого геолога *Абраама Готлоба Вернера (1749-1817)*. Выходец из семьи потомственных горняков, он с ранних лет знал минералы, интересовался геологией. Вернер получил образование в только что открывшейся Фрейбергской горной академии, замечательной школе многих поколений европейских геологов, и в Лейпцигском университете. Вся его последующая плодотворная деятельность протекала в стенах Фрейбергской академии и была направлена преимущественно на систематизацию того фактического материала, который был накоплен в результате развития горного дела и трудов натуралистов того времени. Поскольку химические методы были тогда трудно реализуемы и малоэффективны, Вернер предложил классифицировать минералы на основании их внешних признаков, таких, как окраска, внешний вид (облик, поверхность, блеск), внутренний вид (излом, форма обломков), прозрачность, цвет черты, побежалость, твёрдость, прочность, изгибаемость, вес, запах, вкус и т.д. Такой качественный подход к классификации минералов был целесообразен и практически полезен, но разрабатывая свою систему всецело на внешних признаках минералов Вернер сознательно игнорировал их химический состав, что в конце концов в связи с перестройкой минералогии на химической основе заставило отказаться от его системы. Однако для своего времени система Вернера была важным обобщением, обеспечившим прогресс минералогических исследований и практическое их применение в горном деле. В его трактате “О внешних признаках ископаемых тел” (1774) чётко прослеживается стремление связать предложенную им классификацию с генезисом, ростом кристаллов. Идея изменчивости природных образований пронизывает всю концепцию Вернера. Это, а также анализ им проблемы



минерального индивида позволяет сделать вывод о том, что Вернер стоял у истоков современной онтогении минералов – науки о генезисе минеральных индивидов и их агрегатов.

Подробные и образные описания внешнего облика минералов, предпринятые Вернером, долгое время считались классическими. Им были проведены исследования пространственных закономерностей правильно образованных кристаллических многогранников, причём все разнообразие форм было сведено к шести “основным обликам”, которые явно не соответствуют современным, отдельно взятым простым формам. Гораздо ближе они к обобщающим характеристикам форм кристаллов, принятым в современной минералогии – облику (обобщённому виду кристалла, который прежде всего бросается в глаза) и габитусу (обобщённой кристаллической форме идиоморфных, хорошо развитых кристаллов). В целом это соответствовало словесно-описательному направлению в минералогии, зачинателем которого был Вернер.

Вернер вскрыл и некоторые интересные моменты, получившие дальнейшее развитие в учении о природных кристаллах с динамикой их переходов от одних форм к другим. В области кристаллографии достижения Вернера были достаточно скромны и после работ Ромэ-Делиля и Гаюи, применивших точные методы измерения кристаллов, отошли в область истории науки. Вместе с тем практическая направленность минералогической системы Вернера несомненна и её влияние оказалось достаточно долговременным.

С работами французского ученого *Жана Батиста Луи Ромэ-Делиля (1736-1790)* связано становление кристаллографии как самостоятельной научной дисциплины. Военный инженер-артиллерист Ромэ-Делиль начал изучать минералы как любитель и официального признания в академических и университетских кругах не получил. В 1772 г. им был издан “Опыт кристаллографии”, в 1783 г.



четырёхтомная “Кристаллография”. Ромэ-Делиль – основоположник геометрической кристаллографии, множеством измерений доказавший обязательность закона постоянства углов на кристаллах. Он ввёл в науку гониометрию, на основе которой был впоследствии создан целый ряд методов определения минералов, таких, как кристаллохимический анализ Е.С.Фёдорова, кристаллографический диагноз А.К.Болдырева, определитель кристаллов Т. Баркера.

Ромэ-Делилем была проделана колоссальная работа по измерению гранных углов кристаллов. И.И.Шафрановский (1978) приводит такие данные: если в 1768 г. К.Линнею было известно 40 кристаллических веществ, то в 1772 г. Ромэ-Делиль описал уже 110 кристаллографических образований, а в 1783 г. – 500. Е.С.Фёдоров назвал Ромэ-Делиля “усерднейшим тружеником на поприще исследования кристаллов”.

Ж.Б.Ромэ-Делиль по существу завершает чисто описательное направление в кристаллографии, продолжая дело Агриколы, Стенона и Вернера. Большое значение имели высказанные Ромэ-Делилем мысли о предмете и объекте кристаллографии, её месте в естествознании для развития геологических наук, не потерявшие своего значения и в наши дни. В этом плане он по праву считается основоположником кристаллографии как науки, в особенности геометрического её направления, развитого благодаря последовательному проведению гониометрического метода, сыгравшего огромную роль в разработке учения о формах кристаллических веществ, их пространственной геометрии и симметрии.

Сквозной идеей, проходящей через все труды Ромэ-Делиля, является представление об универсальности процесса кристаллизации в природе. Научное обоснование закона постоянства гранных углов позволило ему разобраться в усложнённых и искажённых формах природных кристаллов. Им были сделаны попытки выяснить зависимость первичных форм минералов от изменения химического состава. Работы Ромэ-Делиля создали надёжную эмпирическую основу для последующих теоретических обобщений.

Ренэ-Жюст Гаюи (1743-1822) получил образование в духовной коллегии. Знакомство с минералогией состоялось у него уже в зрелом возрасте, в домах богатых коллекционеров, привлекавших Гаюи для систематизации своих минералогических собраний. В 1784 г. появился его классический труд “Опыт теории структуры кристаллов”,

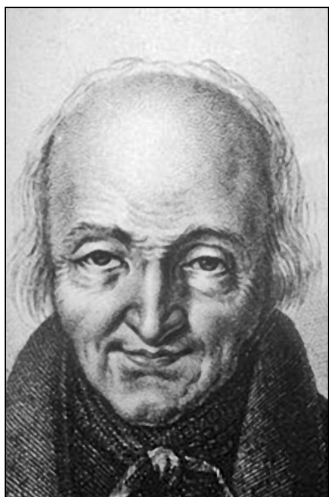
который сразу получил признание учёных того времени. Гаюи был избран в Академию, многие крупные учёные слушали его лекции. С 1794 г. Гаюи – профессор Парижской высшей школы и Парижского горного училища, где читает курсы физики, кристаллографии и минералогии. В 1801 г. выходит в свет капитальный четырёхтомный труд “Курс минералогии”, содержащий, кроме минералогических и кристаллографических описаний, кристаллографическую теорию и оригинальную минералогическую систему – прообраз современной кристаллохимической.

Отправным пунктом при создании структурной кристаллографической теории стали наблюдения Гаюи над спайностью кальцита. Отделяя по спайным плоскостям всё новые части кристалла, он в конце концов получил осколок в форме основного ромбоэдра и сформулировал общий принцип, согласно которому “всякая разновидность одного и того же кристалла заключает в качестве ядра кристалл, который имеет примитивную форму своего рода”. Гаюи установил аналогичные “ядра” в кристаллах других минеральных видов, ядра различной формы, однако форма таких ядер оставалась неизменной для кристаллов одного и того же рода. Гаюи заложил основы теории решётчатого строения кристаллов, согласно которой кристаллические структуры соответствуют параллелепипедальным системам точек. Эта идея, на которой выросла современная структурная кристалло-

графия, была позднее развита О.Браве, заменившим параллелепипеды Гаюи центрами их тяжести.

Гаюи были открыты и обоснованы закон целых и малых чисел и закон симметрии в кристаллографии, разработана кристаллографическая символика.

Принципиальное значение имеет то обстоятельство, что Гаюи последовательно и широко применил свои открытия в области структурной кристаллографии для классификации минералов, по существу на кристаллохимической основе, поскольку минеральный вид трактовался как совокупность всех минеральных тел с одинаковыми интегрирующими моле-



кулами, находящимися в одних и тех же соотношениях. Такая теоретическая основа минералогии позволила ему внести существенные коррективы в систематику минералов.

Не вызывает сомнения, что именно теоретические обобщения Гаюи знаменовали новый этап в развитии кристаллографии и минералогии и заложили фундамент для развития этих научных отраслей в последующие десятилетия.

Первым русским учёным, всецело посвятившим себя минералогии, был *Василий Михайлович Севергин* (1765-1826), воспитанник Академии наук и Гёттингенского университета. По вопросам химии и минералогии Севергин опубликовал около 200 работ, был действительным членом Петербургской и Стокгольмской академий наук, 18 русских и иностранных научных обществ. Основные его труды в области минералогии – “Первые основания минералогии” (1798), “Словарь минералогический” (1807), “Опыт минералогического землеописания Российского государства” (1809). Им были впервые описаны многие минералы: цеолиты, финляндский гранат, русский тальк, нефрит, серпентин, хризолит, флюорит, криолит, авантюрин, разумовскит, байкалит и др.

Перед Севергиным стояла трудная задача создания понятийной и терминологической базы минералогии на русском языке, поскольку до появления его “Первых оснований минералогии” на русском языке были лишь переводные сводки по минералогии. Интересна структура минералогического знания в интерпретации Севергина, перекликающаяся с современными взглядами. Он различал описательную минералогии, минералогическую химию, минералогическое землеописание, экономическую минералогию, историческую минералогию.



Главная заслуга Севергина состоит в топоминералогическом исследовании России. В своих трудах он выступает как основоположник русской описательной минералогии, реализовав в этом плане предначертания М.В. Ломоносова. Двухтомный “Опыт минералогического

землеописания Российского государства” – первый топоминералогический труд, прямой предшественник многотомного исследования Н.И.Кокшарова.

Большое значение имело издание двухтомного минералогического словаря, в значительной мере созданного с учётом новых теорий по внутреннему строению кристаллов и как справочное издание, использовавшееся минералогами и кристаллографами вплоть до XX столетия.

Севергин выступил и зачинателем технологической минералогии, издав двухтомное “Начертание технологии минерального царства” (1822).

На трудах В.М.Севергина воспитывалось не одно поколение русских минералогов и кристаллографов. Он создал целый ряд руководств, пособий, среди которых наибольшей популярностью пользовалась “Новая система минералов, основанная на наружных отличительных признаках” (1816).

Выдающимся основоположником теоретической кристаллографии был *Огюст Браве (1811-1863)*, блестящий воспитанник Политехнической школы в Париже. Незаурядные способности Браве позволили ему заявить о себе в различных науках: математике, географии, геофизике, астрономии, физике. Известна оценка дарования Браве В.И.Вернадским: “Он смотрел на природу глазами геометра,

и это платоновое чувство природы проявилось как в одной из его первых научных работ о симметрии в растениях, так и в его трудах по метеорологической оптике в воззрениях на кристаллы. В кристаллографических работах О. Браве проявил необычайную ясность, изящество и глубину мысли, и его мемуары, несмотря на все новые работы в этой области, сохранили до сих пор свое значение”.

В работе “Исследования о многогранниках симметричной формы” (1849) Браве дал новый вывод законов симметрии конечных фигур, который благодаря стройности и простоте



изложения привлёк внимание не только кристаллографов, но и минералогов и с незначительными коррективами используется поныне. Однако набор элементов симметрии, перечисленных в этом труде, неполон, отсутствует общее определение симметрии.

В “Мемуаре о системе точек, правильно распределенных на плоскости или в пространстве” (1850) содержится вывод 14 пространственных решеток, синтезирующих внутреннее строение кристалла. Это было выдающееся достижение кристаллографии, давшее возможность в дальнейшем Е.С.Фёдорову и А.Шенфлису успешно вывести 230 пространственных групп.

Третьей выдающейся работой Браве стали “Кристаллографические этюды” (1866), в которых намечалась связь между выведенными в предыдущих работах геометрическими закономерностями и решениями основных кристаллографических задач. Браве ввёл в науку понятие ретикулярной плотности и сформулировал закон зависимости внешней формы от внутреннего строения кристалла, пользуясь которым вычислил для выведенных им решёток соответствующие важнейшие гранные формы.

Значительным итогом исследований О.Браве в области кристаллографии стали выведенные им 14 пространственных решёток и закон, связывающий грани на кристаллах с плотностями соответствующих сеток, которые актуальны и в наши дни, хотя их применение к сложным реальным структурам, расшифрованным с помощью рентгеноанализа, потребовало внесения существенных корректив.

Глубокий след в развитии русской минералогии прошлого века оставил *Николай Иванович Кокшаров (1818-1892)*, с именем которого связывают переход от качественного описания минералов к точному кристаллографическому их изучению, анализу физических и химических их свойств. Н.И.Кокшаров – потомственный горный инженер, окончил Горный кадетский корпус, минералогией увлекался с юных лет. Кокшаров принял участие в



двух экспедициях известного английского геолога Р.Мурчисона по геологическому исследованию России. Слушал лекции немецкого минералога и кристаллографа Х.С.Вейса. Кокшаров выступил зачинателем кристаллографических исследований в России, обративших на себя внимание крупных зарубежных кристаллографов и минералогов К.Ф.Наумана, В.Гайдингера, Н.Г.Норденшельда, Г.Розе.

В 1853 г. Кокшаров приступает к печатанию основного труда своей жизни “Материалов для минералогии России”. Уже первый том этого издания получил значительный резонанс в учёном мире, как в России, так и за рубежом. В томе нашёл отражение совершенно новый минералогический материал, уральский и сибирский, впервые вовлечённый в научное обращение. Автору была присуждена Академией наук Демидовская премия. Принципиальное значение имел очень высокий уровень и качество кристаллографических измерений минералов, проведённых Кокшаровым.

В 1858 г. Н.И.Кокшаров избирается экстраординарным, а в 1866 г. ординарным академиком по “кристаллографической геогнозии” и 40 лет является главным представителем русской минералогии и кристаллографии в этом учреждении. Кокшаров состоял членом более 60 русских и зарубежных научных обществ и учреждений, в том числе десяти академий.

Велико значение преподавательской деятельности Н.И.Кокшарова, заложившего начало русской школы минералогов и кристаллографов. Он преподавал минералогию в Горном институте (1847-1855), Институте инженеров путей сообщения (1862-1866), Лесном и Межевом институтах (1854-1862) и др. Результатом этой деятельности явились его “Лекции минералогии” (1863), переведённые на немецкий язык (1865) и переиздаваемые вплоть до 1908 г.

Н.И.Кокшаров первым среди русских минералогов отверг качественно-словесные описания школы Вернера и стал пионером точного кристаллографического изучения минералов, с поразительной целеустремленностью сосредоточив все усилия на этом направлении развития науки. Подавляющее большинство научных работ Кокшарова посвящено изучению русских минералов. Фактически все минералогические работы учёного собраны в “Материалах для минералогии России”. В общем указателе, приложенном к одиннадцатому тому, содержится более 400 названий описанных минералов. Такого широкого охвата русских минералов не было ни у одного исследователя

ни до, ни после него. Описания минералов даны с огромными списками угловых величин, измеренных самим автором. К “Материалам” прилагался обширный атлас с изображениями кристаллов, спроектированных самим Кокшаровым. Это издание представляло собой поистине энциклопедию русских минералов. Целый ряд минералов Кокшаров впервые обнаружил в России: эвклаз, брукит, желтый канкринит, волластонит, халькофиллит, хальколит. Он открыл несколько новых минеральных видов и разновидностей: ильменорутит, клинохлор, кочубейт, валуевит, багратионит, мурзинскит и др.

Главную ценность минералогической энциклопедии Н.И.Кокшарова составляют результаты гониометрических измерений, относящихся к наиболее точным и совершенным в области минералогической кристаллографии и сохранивших своё значение до наших дней. И это несмотря на то, что Кокшаров работал с помощью малосовершенных однокружных гониометров. Однако большое искусство измерений и тщательный выбор из множества индивидов хорошо образованных кристаллов обеспечили долгую жизнь этим измерениям.

Н.И.Кокшаров – яркий представитель эмпирического кристаллографического направления в минералогии. Теоретические обобщения, проблемы генетической минералогии фактически не рассматривались в его трудах. Его деятельность совпала с поступле-

нием богатых материалов из новых рудных районов России и задача состояла в том, чтобы ввести эти материалы в научный обиход, что и было блестяще сделано Н.И.Кокшаровым.

Прямым продолжателем дела Н.И.Кокшарова стал *Павел Владимирович Еремеев (1830-1899)*, получивший образование в Институте горных инженеров и некоторое время занимавшийся вопросами геологии и петрографии



России. С 1857 г. П.В. Еремеев – профессор минералогии и кристаллографии Горного института и почти целиком отдаётся точным исследованиям русских минералов. П.В.Еремеев обладал также ярким педагогическим талантом и воспитал у многих горных инженеров вкус к описательной минералогии. Плодотворной была деятельность П.В.Еремеева в стенах Минералогического общества, с 1870 г. как его секретаря, а с 1892 г., после смерти Н.И.Кокшарова – директора. Результатом этой деятельности стали 22 тома “Записок Минералогического общества” и 14 томов “Материалов для геологии России”, вышедших под его редакцией. В 1875 г. П.В.Еремеев был избран членом-корреспондентом, а в 1894 г. академиком Академии наук.

П.В.Еремеевым было опубликовано около 300 работ, в которых описывается свыше ста минеральных видов. В.И.Вернадский характеризовал П.В.Еремеева как минералога-морфолога, отмечая его большие достижения в области топографической минералогии. Как и Н.И.Кокшаров, он был чужд широких обобщений и генетических интерпретаций. Правда, он изучал парагенезис минералов и много внимания уделил псевдоморфозам. Его измерения на кристаллах также точны, как и измерения Н.И.Кокшарова, но в отличие от последнего он не обобщил свои труды в крупные сводки. Тем не менее, эти работы в совокупности с трудами его предшественника составили крупнейшее достижение русской описательной минералогии и подготовили почву для дальнейших теоретических обобщений.



Центральной фигурой среди кристаллографов и минералогов конца XIX – начала XX столетия был *Пауль Грот (1843-1927)* – воспитанник Фрейбергской горной академии, Дрезденского технического училища и Берлинского университета. Грот занимал кафедры минералогии, кристаллографии и петрографии многих учебных заведений: Берлинского университета и Горной академии, Страсбургского и Мюнхенского университетов. Грот организовал первый в Германии Минералогический инс-

титут и основал “Журнал кристаллографии и минералогии”, публиковавший работы крупнейших учёных различных стран. Он был членом множества академий и научных обществ многих стран. В 1908 г. Лондонское геологическое общество, отмечая заслуги учёного перед наукой, присудило ему высшую награду – медаль Волластона.

Пятитомная “Химическая кристаллография” (1906–1919) П.Грота – энциклопедия кристаллографических знаний, накопленных к началу XX в. П.Гроту принадлежит определение понятия морфотропии как закономерного изменения структуры при изменении состава в некотором гомологическом ряду соединений. Он сформулировал также эмпирическое правило о соотношении между составом и симметрией кристаллов: высокая степень симметрии кристаллического строения связана с простотой химического состава. Так, большинство твёрдых простых веществ принадлежит к кубической, гексагональной или тригональной системам.

Велик вклад П.Грота в науку как воспитателя крупных минералогов и кристаллографов из различных стран. У него проходили стажировку В.И.Вернадский, Г.В.Вульф и другие русские учёные. При его непосредственном содействии М.Лауэ осуществил опыты, с помощью которых была открыта дифракция рентгеновских лучей в кристаллах и доказана решётчатая геометрия кристаллических структур. Он одним из первых понял значение крупнейших достижений Е.С.Фёдорова в области кристаллографии, не оцененных тогда в России, и по его рекомендации Фёдоров был избран членом-корреспондентом Баварской академии наук.

Большое значение для развития минералогии и кристаллографии имели основные труды Грота “Обзорные таблицы простых минералов, распределенных по их кристаллохимическим свойствам” (1873), многократно переиздававшаяся “Физическая кристаллография” (1876, 1885, 1895, 1904, 1921), “Начала физической и химической кристаллографии” (1921), “История развития минералогических наук” (1926).

Основные усилия Грота были направлены на то, чтобы сопоставить все имевшиеся кристаллографические данные и выявить их зависимость от химического состава, и в этом плане он, по словам А.Е.Ферсмана, выступил как основоположник современной кристаллохимии. В своих трудах он рассматривал геометрические свойства кристаллов в их связи с физическими свойствами. Грот подчёркивал,

что наука о кристаллах должна базироваться на кристаллофизике, и все свои сочинения начинал с детального описания оптических, термических, механических и других физических свойств. Большое влияние на труды Грота оказало знакомство с выведенными русским учёным А.В.Гадолиным 32 видами симметрии. Исходя из теории решетчатого строения, Грот доказывал существование видов симметрии, на основе которых выводилась характеристика внешних геометрических форм кристаллов. В “Химической кристаллографии” на огромном фактическом материале была предложена новая систематика окристаллизованных веществ, до сих пор представляющая определённый интерес и обладающая прогнозными качествами. Гротом был сформулирован закон о соотношении между составом и симметрией кристаллов.

Обобщающие труды по физической и химической кристаллографии, большая организаторская деятельность по объединению кристаллографов в важнейшем периодическом издании “Кристаллографическом журнале”, чуткая научная восприимчивость к новым открытиям, воспитание поколений минералогов и кристаллографов закрепили имя П.Грота в истории науки.

Крупный вклад в развитие кристаллографо-минералогических проблем на рубеже XIX-XX вв. внёс немецкий учёный *Виктор Мордехай Гольдшмидт (1853-1933)*. Он, как и многие немецкие минерало-

логи, окончил Фрейбергскую горную академию. Позднее стал профессором Гейдельбергского университета, организовал собственный, частный институт, в котором прошли подготовку многие минералоги из различных стран и в их числе наши соотечественники А.Е.Ферсман, О.М.Шубникова, В.В.Аршинов. Гольдшмидтом были изданы фундаментальные сводки “Указатель кристаллических форм”, сохранившие значение до наших дней как надежные справочники по кристаллам.

Основная деятельность Гольдшмидта связана с открытием законо-



мерностей гранных форм на кристаллах, названных им “законами компликации”, которые устанавливались путем статистического изучения частот проявления кристаллических граней. Другим достижением Гольдшмидта являлась разработка новых методов изучения кристаллов, прежде всего создание нового гониометра, позволявшего без перестановок кристалла измерять угловые величины для всех его граней, который, как и двукружный гониометр Е.С.Фёдорова, используется до настоящего времени.

Колоссальная работоспособность Гольдшмидта позволили ему пересчитать в новой системе 25000 кристаллических форм. В его “Таблицах кристаллографических углов” (1897) каждый минерал представлен специальной таблицей с перечнем свойственных ему форм. Десять лет труда было потрачено Гольдшмидтом на составление девятитомного “Атласа кристаллических форм” (1913-1923) с 30 000 изображений всех когда-либо изученных природных кристаллических форм. Эти работы явились выдающимся вкладом в минералогическую кристаллографию.

С именем В.М.Гольдшмидта связано возникновение и развитие нового направления минералогической кристаллографии – генетической морфологии кристаллов, рассматривающей структуру граней и поверхностей кристаллических тел как следствие воздействия внешней минералообразующей среды: “Кристалл неизбежно несёт на себе следы предыдущих моментов своего существования. По его форме, по скульптуре его граней, мелочам и деталям его поверхности мы можем читать его прошлое”.

Принципиально новым типом минералого-кристаллографического исследования явилась монография “Алмаз” (1911), созданная Гольдшмидтом совместно с его учеником А.Е.Ферсманом, до сих пор представляющая образец научного исследования, проведённого на генетико-морфологической основе.

С трудами великого русского ученого *Евграфа Степановича Фёдорова (1853-1919)* связана целая эпоха в развитии науки о кристаллах, переход от формально-описательной ее стадии к структурной.

Е.С.Фёдоров с детства проявлял незаурядные математические способности, однако путь его в науку был непрямым и сложным. Он окончил Петербургское военно-инженерное училище, служил в армии, учился в Военной медико-хирургической академии, Технологическом и Горном институтах, участвовал в революционном

движении. Уже в 16 лет он приступил к работе над своей капитальной монографией “Начала учения о фигурах”, которая была закончена в 1879 г. Предложенная в ней теория строения кристаллов, разработанная на основе геометрии параллелоэдров, объясняла двойникование, спайность, рост кристаллов. Но минералогическая общественность России, в том числе академики Н.И. Кокшаров и П.В. Еремеев, не смогли оценить работу Фёдорова, и она увидела свет лишь в 1885 г., а её автор не был оставлен при Горном институте и вынужден был много лет работать геологом на Урале. С 1895 г. Фёдоров – профессор геологии в Московском сельскохозяйственном институте, читает лекции в Горном институте. В 1896 г. он был избран членом-корреспондентом Баварской академии наук. В 1905 г. Фёдоров становится первым выборным директором Горного института. Избран действительным членом Российской Академии наук (1919).

Фёдоров оставил свыше 500 научных работ по вопросам кристаллографии, геометрии, геологии, петрографии, минералогии. К крупнейшим его достижениям следует отнести теорию кристаллического строения с выводом 230 пространственных групп, теодолитный метод, основанный на применении двух его же приборов – двукружного гониометра и столика для микроскопа, и кристаллохимический анализ, оформленный в виде таблиц книги “Царство кристаллов”, вышедшей уже посмертно в 1920 г. Теория кристаллического строения основывалась на учении о параллелоэдрах, выдающемся его вкладе в геометрию, и на теории правильных систем фигур (точек). Эти идеи были заложены уже в первой работе Фёдорова “Начала учения о фигурах” и развиты в последующих работах “Этюды по аналитической кристаллографии” (1885-1887), где учение о кристаллах связывалось с детерминантами и новой геометрией, “Симметрия правильных систем фигур”, содержавшая первый вывод 230 пространственных групп (1890). Наряду с более поздней синтезиру-



ющей монографией “Правильное деление плоскости и пространства” эти работы содержат новый подход к теории кристаллографии.

Учёный внёс крупный вклад в разработку методов кристаллографии, создав универсальный теодолитный метод в гониометрии и кристаллооптике (1890). В 1891 г. он сделал заявку в Геологическом комитете на изобретённый им универсальный столик для микроскопа, который в совокупности с двукружным гониометром и разработанной Фёдоровым методикой его применения произвёл переворот в исследовании кристаллов. Фёдоров постепенно совершенствовал предложенную им методику, упрощая способы вычислений и изображения кристаллов с помощью стереографической сетки. Из всех достижений Фёдорова универсальный метод пользуется наибольшей популярностью. Значение этого кристаллографического метода очень велико для минералогии и петрографии.

Перспективными оказались идеи Фёдорова по разработке кристаллохимического анализа, согласно которым можно определить вещество кристалла исходя из гониометрического его изучения. На этом пути Фёдоровым был сформулирован ряд важных законов, утвердившихся в кристаллографии. Таков закон кристаллографических пределов, подразделяющий все кристаллы по развитию форм на кубические и гексагональные; закон проективности кристаллографических комплексов, устанавливающий соответствие между гранями и ребрами кристаллов разных сингоний. Кристаллохимический анализ Фёдорова основывается на законе постоянства углов кристаллов и на его теории кристаллического строения. Кристаллохимический метод Фёдорова позволяет установить, по крайней мере в общих чертах, тип внутренней структуры по внешнему ограничению кристаллов, и до открытия рентгеноанализа он был единственным методом расшифровки кристаллической структуры.

Е.С.Фёдоров создал серию “Курсов кристаллографии” (1891, 1897, 1901, 1910), оставил после себя научную школу (А.К.Болдырев, О.М.Аншелес, В.Н.Лодочников, А.Н.Заварицкий, В.В.Никитин, в Англии – Т.Баркер).

Переломным для развития минералогии и кристаллографии стал 1912 г., ознаменовавшийся эпохальными физическими открытиями: М.Лауэ была открыта дифракция рентгеновских лучей, Г. и Л. Брэггами экспериментально доказано существование кристаллической решётки. Эти открытия подтвердили теоретические предположения

Фёдорова и означали переход к новому структурному направлению современной науки о кристаллах. Хотя эти открытия были сделаны физиками, их значение для кристаллографии и минералогии столь велико, что их авторы являются вместе с тем и классиками науки о кристаллах.

Немецкий физик *Макс фон Лауэ* (1879-1960) окончил Берлинский университет. Работал в Институте теоретической физики у М.Планка, в Мюнхенском и Цюрихском университетах, с 1921 по 1943 гг. — заместитель директора Физического института в Берлине. После войны работал в Гёттингенском университете. В 1951-1960 гг. — директор Института физической химии и электрохимии. Научные работы Лауэ относятся к оптике, кристаллофизике, сверхпроводимости, квантовой теории, атомной физике и физике твёрдого тела. Кроме того, он показал себя незаурядным историком науки, опубликовав интересную во многих отношениях “Историю физики” (1947).

Открытие рентгеновских лучей с их необыкновенными свойствами поставило многих выдающихся физиков в тупик при определении их природы. М.Лауэ первым выдвинул предположение о волновых свойствах рентгеновских лучей и высказал мысль о возможности их интерференции в пространственной решетке кристаллов. В 1912 г. он разработал теорию интерференции рентгеновских лучей на кристаллах, предложив использовать кристаллы как дифракционные решётки для рентгеновских лучей. Эта плодотворная идея получила экспериментальное подтверждение в опытах В.Фридриха и П.Книппинга в том же году. После первых же публикаций о результатах этих экспериментов Лауэ разработал теорию интерференции рентгеновских лучей в кристаллах. В дальнейшем теория была уточнена и обобщена рядом учёных и после открытия волновых свойств электронов, когда потребовалось понять механизм их интерференции в пространственных решётках кристаллов, оказала существенное влияние на развитие науки. Завершённую форму этой обобщенной “динамической теории” Лауэ дал в 1931 г.



Открытием явления интерференции (дифракции) рентгеновских лучей была подтверждена их электромагнитная природа и установлено их место на шкале волн, доказана периодическая атомная структура кристаллов. Это открытие привело к созданию мощного метода изучения структуры вещества – рентгеноструктурного анализа. Специфическую интерференционную картину, получаемую в результате прохождения рентгеновского излучения со сплошным спектром через монокристалл, стали называть “лауэграммой”. За открытие дифракции рентгеновских лучей Лауэ был удостоен Нобелевской премии (1914).

Открытие Лауэ дифракции рентгеновских лучей в кристаллах совершило, по словам крупнейшего кристаллохимика академика Н.В.Белова, “величайшую революцию в кристаллографии” и открыло рентгеноструктурный этап в её истории. Принципиально важно, что он подтвердил правильность основных кристаллографических идей, развившихся на протяжении нескольких веков.

Открытый Лауэ способ рентгеноструктурного изучения кристаллов был экспериментально закреплён в том же году У.Г. и У.Л.Брэггами, доказавшими периодичность атомной структуры кристаллов.

Уильям Генри Брэгг (1862-1942) окончил Кембриджский университет, был профессором Аделаидского (Австралия), Лидского и Лондонского университетов, профессором и директором Королевского института. Основные направления работы связаны с изучением рентгеновских лучей, проникающей и ионизирующей способности быстрых частиц, с рентгеноструктурным анализом и рентгеновской спектроскопией. Используя явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллах, У.Г.Брэгг со своим сыном У.Л.Брэггом впервые осуществили исследование кристаллических структур. Анализируя отражение монохроматического рентгеновского излучения от различных сечений плоскопараллельных конфигураций атомов в кристал-



лической решетке, они определили длину волны излучения и тип симметрии решетки. У.Г.Брэгг разработал метод рентгенографического анализа кристаллов – метод вращающегося кристалла, изобрёл рентгеновский спектрометр.



Уильям Лоренс Брэгг (1890-1971) окончил Аделаидский и Кембриджский университеты. Работал в Манчестерском университете, Национальной и Кавендишской физических лабораториях, долгое время был директором Королевского института. Основные исследования посвящены теории дифракции рентгеновских лучей, рентгеноструктурному анализу, вопросам металлургии, полиморфизма и фазовых переходов в металлах и сплавах, химии белка, истории физики. Л.Брэгг совместно с Дж.Берналом и Л.Полингом заложил основы структурного анализа белка. В 1913 г. независимо от русского

кристаллофизика Г.В.Вульфа нашёл уравнение, связывающее длину волны рентгеновского излучения с периодом кристаллической решётки кристалла (формула Брэгга-Вульфа) и лежащее в основе спектроскопии рентгеновских лучей. Он усовершенствовал методы рентгеноструктурного анализа, разработал способы расшифровки сложных кристаллов, определил структуры многих силикатов. Выдвинул идею рентгеновского микроскопа (1942).

Эксперименты Брэггов по изучению структур кристаллов положили начало рентгеноструктурному анализу и рентгеновской спектроскопии. За большой вклад в изучение структур кристаллов с помощью рентгеновских лучей Брэгги были удостоены Нобелевской премии (1915).

Великий русский учёный и оригинальный мыслитель *Владимир Иванович Вернадский (1863-1945)* оставил след во многих отраслях естествознания, философии и истории науки. Но, безусловно, наибольшие его достижения в минералого-геохимических отраслях знания. В СССР большинство крупных минералогов – ученики Вернадского, создавшего в годы работы в Московском университете

научную школу минералогов. Его идеи вдохновляли и тех, кто непосредственно не учился у него. В.И.Вернадский – основоположник генетической минералогии. Огромное значение имели его труды по химической минералогии – выдвинутая им теория химической конституции силикатов и работы по проблеме изоморфизма элементов в минералах. Теория строения алюмосиликатов, оказавшая решающее влияние на становление учения о конституции минералов, была названа знаменитым французским химиком А.Ле-Шателье “гениальной гипотезой”.

Ученик Вернадского *Александр Евгеньевич Ферсман* (1883-1945) был достойным продолжателем дела своего учителя и признанным главой советской минералогической школы. Учёба в Московском университете у Вернадского оказала решающее влияние на молодого минералога не только в научном, но и в мировоззренческом плане. Ферсман изучал многие минералы, особенно палыгорскиты, цеолиты, драгоценные и поделочные камни, апатит и нефелин. Вершиной деятельности Ферсмана как минералога стала его монография “Пегматиты, их научное и практическое значение. Т.1. Гранитные пегматиты” (1931), в которой дана сводка около 350 минералов пегматитовых жил и впервые рассмотрен генезис пегматитов и их минералов. Ферсман внёс крупный вклад в топоминералогические исследования СССР. Большое значение имели работы Ферсмана, посвящённые окраске минералов и химической минералогии. Им были выявлены химические факторы образования минералов, намечены путем разработки энергетической теории минералообразования.

Вернадский и Ферсман стоят у истоков советской минералогии и геохимии, внесших весомый вклад в развитие мировой науки. Более подробно об их вкладе в минералогию будет сказано в других разделах книги.

Георгий (Юрий) Викторович Вульф (1863–1925), физик, член-корреспондент РАН (1921), родился в Нежине в дворянской семье. После окончания 6-ой классической гимназии в Варшаве поступил на естественное отделение физико-математического факультета в Варшавский университет. Со 2-го курса занимался кристаллографией у профессора А.Е.Лагорио и в физической лаборатории у профессора Н.Е.Егорова. На 3-м курсе выполнил экспериментальную работу по изучению электрических свойств кварца, выдвинутую факультетом на конкурс, и получил золотую медаль. После окончания университе-



та в 1885 г. был оставлен А.Е.Лагорио на кафедре минералогии и занимался изучением теплоёмкости минералов калориметром Бунзена. В 1888 г., после сдачи магистерского экзамена переехал в Петербург, где работал в минералогическом кабинете университета. В 1889 г. Вульф командирован в Мюнхен к профессору П.Гроту, где провёл работу по исследованию кристаллов сернокислого бериллия, послужившую основой для магистерской диссертации. В 1890–1891 гг. работал в Париже в лаборатории академика Корню над изучением упругости твёрдых тел.

В 1892 г. Г.В.Вульф защитил в Варшаве магистерскую диссертацию “Свойства некоторых псевдосимметрических кристаллов” и начал работать в Варшавском университете приват-доцентом

В 1896 г. защитил докторскую диссертацию в Новороссийском университете и был назначен профессором в Казанский университет. В конце 1898 г. после ухода А.Е.Лагорио возглавил кафедру минералогии в Варшавском университете. Сочувствие демократическим силам в 1905–1907 гг. вынудило Вульфа в 1907 г. подать в отставку и переехать в Москву. Вернулся он к работе в Московский университет только в 1909 г. Но уже в 1911 г. вместе с передовой профессурой покинул Московский университет в знак протеста против реакционной политики Министерства просвещения и перешёл в Народный университет им. Шанявского. Здесь Вульф впервые в России поставил *эксперименты по рентгеноструктурным исследованиям кристаллов*. В 1913 г. Вульф открыл закон интерференции рентгеновских лучей, отражённых атомными плоскостями кристаллов, и независимо от У. Г. Брэгга вывел основную формулу рентгеноструктурного анализа (так называемое условие Брэгга – Вульфа). Избран почётным членом Российского минералогического общества. В 1917 г. Г.В.Вульф вернулся в Московский университет.

Г.В.Вульф предложил способ вывода всех видов симметрии кристаллов, разработал графический метод обработки результатов из-

мерения с помощью сетки (сетка Вульфа, линейка Вульфа-Фёдорова). Установил влияние силы тяжести на форму кристалла во время его роста из раствора (1895). Сконструировал вращающийся кристаллизатор и разработал метод выращивания кристаллов правильной формы. Установил закон процесса роста кристаллов, по которому скорости роста граней пропорциональны их удельным поверхностным энергиям (закон Вульфа). Вульф изобрёл наглядный графический метод обработки результатов измерения кристаллов с помощью стереографической сетки, получившей его имя. Дал новый способ вывода всех групп симметрии кристаллов. Вульфу принадлежат также работы в области роста кристаллов, изучения жидких кристаллов и кристаллооптики.

Научные работы Г.В.Вульфа системны, имеют своим предметом кристаллографию, кристаллофизику, кристаллооптику, рентгеноструктурный анализ, минералогию в их единстве. Вклад Вульфа в науку оказался весьма принципиальным и связанным с началом нового этапа развития минералогии – кристаллохимического. Основной взгляд, проводимый Вульфом в его научных трудах, университетских и публичных лекциях, сводится к тому, что минералогия не есть самостоятельная наука и что владеть ею способен лишь учёный, глубоко знающий физику и химию в качестве основных предметов, а не вспомогательных. Образовавшись в качестве науки о “третьем царстве природы”, царстве мёртвых предметов, минералогия оказалась конгломератом различных наук, как, например, чисто биологической – палеонтологии, чисто физической – кристаллографии, и чисто химической – собственно минералогии. Смешение этих дисциплин вводит в науку нежелательный дилетантизм. Хотя такой взгляд требует разъяснения, интерпретации, он оригинален и содержит глубокий смысл.

Анатолий Капитонович Болдырев (1883-1946) – минералог, кристаллограф, математик, доктор геолого-минералогических наук (1937), член Французского и Всесоюзного минералогических обществ.

С 1901 г. студент Горного института. За участие в политических студенческих сходках в 1910 г. исключен из института, в 1911 г. арестован и выслан на Урал. Студентом и в ссылке занимался кристаллографическими исследованиями и к моменту окончания института (1919) стал признанным учёным. С 1921 г. – профессор Горного института, заведующий кафедрой кристаллографии и минералогии,



автор учебников. Одновременно с преподаванием принимал участие в работах Геологического комитета.

Как бывший эсер подвергался неоднократным арестам и вызовам в ВЧК-ОГПУ-НКВД, иногда на сутки, иногда на несколько часов. Более длительные аресты относятся к 1921 г. (февраль-апрель), 1933 г. (январь-апрель) и 1937 г. Каждый раз после допросов его выпускали “без последствий и ограничений”.

Вновь арестован в ночь на 8 октября 1938 г. На этот раз ему вменили в вину то, что он с 1933 г. являлся участником эсеровской организации.

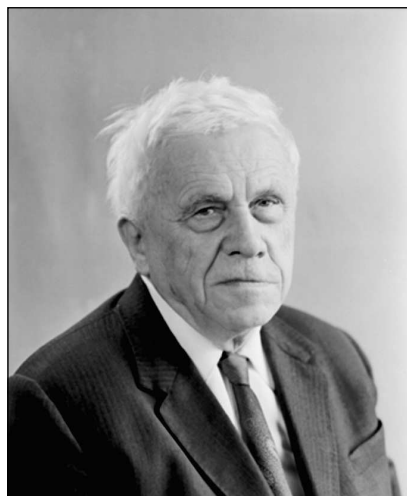
Особым совещанием при НКВД СССР 26 июля 1939 за участие в антисоветской организации приговорён к 5 годам лишения свободы и отправлен этапом на Колыму. 6 ноября 1939 г. прибыл в бухту Нагаева, неделю находился в магаданской пересылке, затем на общих работах в Усть-Тасканском лагпункте Севвостлага (на строительстве электростанции). В ноябре 1940 г. переведён в Магадан, зачислен на должность инженера-геолога геологоразведочного управления Дальстроя, а после организации научно-исследовательского отдела ГРУ (весна 1941 г.) стал его научным руководителем. После освобождения из Севвостлага (26 октября 1943 г.) без права выезда с Колымы до особого распоряжения продолжил работу там же в качестве вольнонаёмного.

За время работы в ГРУ проводил исследования и консультации по минералогии, кристаллографии, петрографии, рудным месторождениям, подсчёту запасов и другим геологическим вопросам. Переводил научные статьи с иностранных языков. Руководил созданием обобщающих материалов по региону. Написал первую часть “Очерков высшей минералогии”.

В марте 1946 г. автомашина, в которой он ехал, провалилась под лёд в бухте Гертнера Охотского моря вблизи Магадана. Шофёр погиб, а А.К.Болдырев, выбравшись на берег, замёрз в нескольких сотнях метров от пос. Ола под Магаданом.

Продолжая работы Е.С.Фёдорова по определению химического состава вещества на основании измерений кристаллов этого вещества, А.К.Болдырев в 1925 г. предложил новый, более простой и доступный метод. Для пользования этим методом был составлен коллективом авторов первый том “Определителя кристаллов” (в 2-х частях, 1937–1939). Кроме того, Болдырев предложил новый метод определения минералов по их рентгенограммам, который имеет большое практическое значение: для определения достаточно иметь исследуемый минерал в виде порошка. Создал рентгенометрическую лабораторию, одну из первых в России. Под его руководством составлен “Рентгенометрический определитель минералов” (в 2-х частях, 1938–1939). В области минералогии работал над изучением месторождений железа, меди, олова, вольфрама, висмута и бериллия. Результатом этих исследований было открытие новых коренных месторождений олова. При участии Болдыревым была выработана кристаллографическая номенклатура, вошедшая во все учебники. Из других его трудов должны быть названы: Курс описательной минералогии. – Вып. 1–3. – Л.; М., 1926–1935; Кристаллография. – 3-е изд. – Л.; М., 1934; Химическая конституция и кристаллическая структура слюд // Слюды СССР. – Л.; М., 1937.

Николай Васильевич Белов (1891-1982) – выдающийся кристаллограф и кристаллохимик, академик, Герой Социалистического



Труда, родился в 1891 г. в г. Янове Люблинской губернии (ныне Люблинское воеводство Польши) в семье уездного врача, окончил с золотой медалью гимназию в Варшаве, учился в Петербургском политехническом институте, специализируясь в области электрохимии. Из-за революции и гражданской войны в России закончил институт лишь в 1921 г. Работал в химических лабораториях в промышленности.

В 1933 г., по рекомендации А.Е.Ферсмана, стал старшим специалистом отдела геохимии Ломо-

носовского инситута АН СССР. Исследования апатита (совместно с И.Г.Ченцовым) позволили ему разработать оригинальный промышленный метод извлечения из апатита редкоземельных элементов, основанный на использовании кристаллохимического подхода с учётом тонкой структуры апатита и локализации в ней извлекаемых компонентов. После переезда учреждений Академии наук из Ленинграда в Москву Н.В.Белов, увлекшийся к тому времени кристаллохимией, перешёл из отдела геохимии Ломоносовского института в Лабораторию кристаллографии, которую возглавлял А.В.Шубников. Глубокий интерес к кристаллохимии сформировался у Н.В.Белова, когда он делал перевод с немецкого языка на русский книги норвежского профессора О.Гасселя “Кристаллохимия”, которая многие годы была единственным руководством для кристаллографов-структурщиков.

Вскоре кристаллохимическое направление стало основным в трудах Николая Васильевича. Им была создана общая теория структур, основывающаяся на рассмотрении свойств плотнейших упаковок из шаров с разными, но не более 2-4 размеров диаметрами, явившаяся своеобразным продолжением работ Е.С.Фёдорова по стереоздрам. В 1934-1941 гг. под руководством и при непосредственном участии Н.В.Белова создавались два кристаллохимических музея: в Ленинградском горном институте и в Лаборатории кристаллографии АН СССР (с 1947 г. Институт кристаллографии АН СССР). Модели структуры минералов, созданные Н.В.Беловым, получили всеобщее признание и обеспечили перестройку преподавания минералогии на структурной основе. Его работы по теории плотнейших шаровых упаковок и применению их к описанию строения неорганических кристаллических веществ принесли ему вскоре и мировое признание.

Н.В.Белов доказал, что симметрия всех возможных плотнейших упаковок описывается всего восемью пространственными группами, установил количество различных упаковок для каждого фиксированного числа слоёв и дал описание их пространственного построения. С позиций плотнейших упаковок атомов, дополненных схемами заселения в них пустот, он рассмотрел и систематизировал огромное число структур минералов и других неорганических соединений. Плотнейшие упаковки позволили выявить кристаллохимическое родство больших групп веществ. С использованием идеи Л.Полинга о полиэдрах он развил единый подход к наглядному изображению и построению моделей атомных структур кристаллов, создал метод

исследования атомного строения твёрдых тел по рентгеновским дифракционным данным. Он освоил в совершенстве рентгеноструктурный анализ. Монография Н.В.Белова “Структура ионных кристаллов и металлических фаз” (1947), широко известная “синяя книга”, долгое время оставалась единственной энциклопедией по строению минералов. Им опубликовано несколько методических работ, из которых особенно важными стали в 1951 г. монография “Структурная кристаллография” и большая статья “Классный метод вывода пространственных групп симметрии”.

За достижения в изучении атомной структуры кристаллов Н.В.Белов в 1953 г. избран действительным членом АН СССР и в том же году он стал профессором кафедры кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (с 1961 г. заведующий кафедрой).

В 1955 г. Н.В. Белов обобщил свой “классный метод” на черно-белую “шубниковскую симметрию” и вместе с Н.Н.Нероновой и Т.С.Смирновой (Кунцевич) вывел 1651 шубниковскую группу симметрии. В 1956 г. предложил новый вид симметрии, а именно цветную симметрию, которую сейчас принято называть “беловской”, и вывел группы этой симметрии. В 1961 г. цветная симметрия была расширена до цветной антисимметрии.

В 1954 г. Н.В.Белова избрали членом исполкома Международного союза кристаллографов. С 1957 г. по 1963 г. был вице-президентом этого союза, а с 1966 г. по 1969 г. – президентом. После создания в 1955 г. Национального комитета советских кристаллографов, он был первым председателем и оставался на этом посту до конца жизни.

Вклад Н.В.Белова в развитие кристаллографии и минералогии весьма разнообразен. Это его труды по морфологии кристаллов, по полиморфизму, по фазовым переходам, по росту кристаллов, по строению стекла. Но главными были исследования закономерностей атомного строения кристаллов, основу которых составляли экспериментальный рентгеноструктурный, а позднее и нейтронографический анализ строения минералов и синтетических соединений. На этом фундаменте он строил современную кристаллохимию силикатов, привлекавших его внимание не только сложностью своих атомных узоров, но и громадным значением их в природе и промышленности. Результаты этих исследований были изложены в монографии “Кристаллохимия силикатов с крупными катионами” (1961). Проблеме

инвентаризации типов кремнекислородных радикалов была посвящена его работа “Новый инвентарь бесконечных в одном измерении кремнекислородных и близких радикалов” (1963), в которой он пополнил систематику кремнекислородных цепей и лент. Он также выявил генетические связи цепь-лента-слой-каркас для разных типов силикатных сочленений и показал, как эти связи реализуются при структурных преобразованиях в земной коре. Идеи Н.В.Белова привели к коренному пересмотру основных положений минералогии, геохимии и кристаллохимии силикатов.

Н.В.Белов явился одним из основателей структурной минералогии. На основании структурных исследований он рассматривал геохимические процессы, связанные с образованием минералов и горных пород, выделением их из магмы; энергетические процессы, происходящие в недрах Земли, вопросы изоморфизма. В статьях, посвящённых магматическому процессу, показал, что таблиц кларков (распространенности элементов в земной коре) и ионных радиусов достаточно для построения элементарного учения о дифференциации магмы.

Н.В.Белову принадлежат многие фундаментальные результаты в развитии современного учения о симметрии. В 1986 г. была издана его книга “Очерки по структурной кристаллографии и федоровским группам симметрии”. Всего же Н.В.Беловым опубликовано более полутора тысяч научных работ. Ми-



нералогические общества СССР, США, Англии, Франции и Геологическое общество ГДР избрали его своим почётным членом. Он был избран иностранным членом Польской академии наук (1977) и почётным доктором Вроцлавского университета (1975).

Георгий Борисович Бокий (1909-2001), известный специалист в области кристаллохимии, создатель и организатор отечественной кристаллохимии, член-корреспондент АН СССР (1958), родился в Санкт-Петербурге в семье выда-

ющегося потомственного горного инженера, профессора Горного института Б.И.Бокия. Образование получил в Горном институте, где его главными учителями были А.К.Болдырев и Н.С.Курнаков. По окончании в 1930 г. института началась его работа в Ломоносовском институте под руководством А.В.Шубникова по определению оптических свойств кристаллов фёдоровским методом, а с 1931 г. в Физико-техническом институте по выращиванию кристаллов сегнетоэлектриков.

После переезда в 1934 г. Ломоносовского института в Москву Г.Б.Бокий работал у Н.С.Курнакова и в 1935 г. организовал в Институте общей и неорганической химии АН СССР лабораторию кристаллографии, впоследствии переименованную в лабораторию кристаллохимии, изучавшую комплексные соединения платиновых металлов. В 1939 г. Г.Б.Бокий начал заниматься рентгеноструктурным анализом. В том же году вышел фундаментальный труд, ставший настольной книгой кристаллографов, – “Основы кристаллографии”, написанный в соавторстве с А.В.Шубниковым и Е.Е.Флинтом, а также проведена совместно с Г.Г.Леммлейном работа по изучению округлых кристаллов алмаза. Значимой оказалась работа по теоретическому и экспериментальному изучению числа физически различных форм кристаллов.

Во время войны в эвакуации в Казани Г.Б.Бокий прочёл по предложению А.Н.Несмеянова свой первый курс кристаллохимии. В 1942 г. он защитил докторскую диссертацию, в 1943 г. получил звание профессора. С 1945 г. Г.Б.Бокий стал преподавать кристаллографию в МГУ и организовал кафедру кристаллографии и кристаллохимии на геологическом и химическом факультетах. В 1951 г. совместно с М.А.Порай-Кошицем был написан и вышел в свет первый том учебника “Практический курс рентгеноструктурного анализа”, по которому обучались поколения химиков и минералогов-структурщиков. В 1954 г. Г.Б.Бокий получен интересный результат по количественным характеристикам трансвлияния четырехвалентной платины, в 1956 г. опубликована монография “К теории дальтонов и бертолидов”, в 1958 г. вышел её английский перевод. В 1954 г. опубликован известный учебник “Кристаллохимия”, выдержавший три издания и до сих пор признанный лучшим среди подобных отечественных изданий. С 1958 г. Г.Б.Бокий в течение пяти лет работает в Сибирском отделении АН СССР. Он стал одним из организаторов

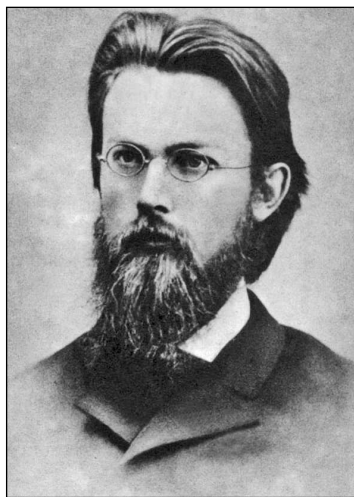
Института неорганической химии, создателем рентгеноструктурной лаборатории в нём, организатором и главным редактором “Журнала структурной химии”.

После возвращения в 1963 г. в Москву Г.Б.Бокий работал в ВИНТИ, а с 1972 г. заведовал лабораторией рентгеноструктурного анализа в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, уделял большое внимание проблемам систематики кристаллических структур, разработке новых её принципов. В 1976-1981 гг. вышли в свет 4 тома “Тезаурус по минералам”, в 1997 г. в ВИНТИ вышла книга “Систематика природных силикатов”, в 1998 г. – её английский перевод. В 2000 г. издана “Систематика природных оксидов”.

**Школа минералогов
В.И.Вернадского
в Московском
университете**

магистерских экзаменов, командирован за границу, где пробыл до 1890 г. Большую часть этого времени он провёл у П.Грота и Л.Зонке в Мюнхене, занимаясь кристаллографией, затем в Италии и Париже, где работал у известных минералогов-экспериментаторов Ф.Фуке, А.Л.Шателье, О.Мишель-Леви. Влияние французской минералогической школы сказалось впоследствии на общем направлении всех его минералогических работ. По возвращении из-за границы В.И.Вернадский летом 1890 г. участвовал в почвоведческой экспедиции В.В.Докучаева в Полтавской губернии.

По окончании университета в 1886 г. В.И.Вернадский был назначен хранителем кабинета минералогии Петербургского университета, а через два года, после сдачи



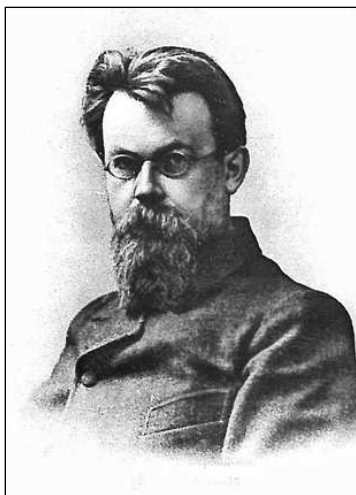
В.И.Вернадский,
выпускник Петербургского
университета.

По существу он находился на распутьи, предполагая заняться научной и преподавательской деятельностью. Из российских университетов наиболее предпочтительными ему казались Университет св. Владимира в Киеве и Харьковский университет, прежде всего потому, что там осталась память о профессорстве его отца И.В.Вернадского, который в Московском университете работал недолго.

Неожиданно, ещё находясь в Париже, В.И.Вернадский получил приглашение профессора А.П.Павлова, с которым в том же году познакомился на экскурсии Международного геологического конгресса в Англии, читать в качестве приват-доцента лекции по минералогии на естественном отделении физико-математического факультета Московского университета, где в это время освободилась вакансия. Это приглашение перевернуло все его планы и во многом определило его дальнейшую жизнь в науке. 20-летний московский период деятельности В.И.Вернадского имел огромное значение для развития отечественной минералогии.

Чтение лекций Владимир Иванович начал в 1891 г. После защиты в Петербургском университете осенью того же года диссертации на степень магистра геологии и геогнозии он стал заведовать минералогическим кабинетом и возглавил кафедру минералогии. Перед ним встали задачи: разработать курсы лекций и практических занятий по минералогии и кристаллографии, привести в порядок кабинет и музей, начать систематические исследования в химической лаборатории, которая досталась ему в наследство от его предшественника профессора Михаила Александровича Толстопятова. Особо сложной была задача упорядочения музея и кабинета, которые находились в полном хаосе. Её он не мог решить один, необходимо было мобилизовать на это своих помощников и студентов, и это заняло много времени.

Об этом писал один из первых его учеников С.П.Попов: “Первыми



В.И.Вернадский
в Московском
университете.

учениками Владимира Ивановича, поступившими в университет еще до его переезда в Москву, были А.О.Шкляревский и А.А.Ауновский. Первый из них по окончании курса получил место ассистента в Минералогическом кабинете, что касается А.А.Ауновского, то из-за диплома II степени он не мог быть, как предполагалось, оставлен при университете. Тем не менее, он в качестве частного лица продолжал работать в Кабинете ещё несколько лет, принимая живое участие в его жизни. Второй группой учеников Владимира Ивановича были П.К.Алексат и автор этих строк, окончившие курс в 1897 г., после чего П.К.Алексат получил в Кабинете место ассистента, а я был оставлен при университете для приготовления к профессорскому званию, как тогда титуловались лица, называемые ныне аспирантами. На всех перечисленных, а особенно на А.О.Шкляревского и легла главная тяжесть работы по реорганизации Кабинета. А работы предстояло немало. Как я уже упоминал, музей находился в полном беспорядке: масса коллекций была свалена в ящики, а этикетки растеряны и, чтобы восстановить их, приходилось искать в каталоге, использовать все уцелевшие записи, сверять наклеенные на образцах номера с уцелевшими каталогами. Только огромная эрудиция Владимира Ивановича и хорошее его знакомство с музейным делом дали возможность успешно довести работу до конца.

Владимир Иванович относился к этому делу с огромным увлечением, которым заражал своих сотрудников; он прекрасно сознавал значение хорошего систематического музея и старался, по возможности, улучшить его состояние. Не довольствуясь приведением в порядок старых университетских коллекций, он добился передачи Минералогическому кабинету коллекции Румянцевского музея, находившейся в неважном состоянии и требовавшей большой работы по восстановлению. Стремясь к получению нового материала, он систематически выписывал интересные коллекции от Кранца, привозил сам образцы, собранные во время летних экскурсий, и требовал того же от своих сотрудников. Владимир Иванович вовлекал в работу по музею всех своих учеников, но главным его помощником был А.О.Шкляревский, можно сказать, отдавший этой работе всю свою недолгую жизнь. Он умер в 1902 г. от горловой чахотки, которая в значительной степени была вызвана постоянной и ежедневной возней в пыли старых коллекций. Результатом работ Владимира Ивановича и его сотрудников было восстановление всех ценных коллекций музея, что и привело его к положению одного из лучших минералогических музеев России. Не только восстановление коллекций, но и другие стороны жизни Минералогического кабинета требовали усиленного внимания. Являясь проводником химического направления в минералогии,

Владимир Иванович старался создать необходимые условия для проведения аналитических исследований”³.

Вернадский многое сделал в первые годы своего пребывания в Москве для оборудования кабинета микроскопами, гониометрами и другими физическими приборами. Лаборатория, состоявшая из двух комнат и третьей, полутёмной, для работы с вредными газами, помещалась на нижнем этаже главного корпуса университета, на втором находились минералогический и геологический кабинеты. Работы с микроскопом, гониометрами, спектро스코пом велись в главной комнате кабинета, рядом с музеем. При минералогическом кабинете находилась аудитория, в которой, кроме лекций, происходили практикумы по кристаллографии, работы с паяльной трубкой и заседания научных кружков.

В.И.Вернадский в своих дневниках оставил яркие воспоминания (Боровое, 1942 г.) об этом периоде своей деятельности, которые имеет смысл привести.

“Когда я приехал, то застал Минералогический кабинет в хаотич[еском] состоянии. На полу в зале с коллекцией лежали кучи минералов. И я застал Кислаковского (1889), который уничтожил пометки и наводил внешний порядок в коллекции – но не успел закончить всё к моему приезду. Потом он же нашёл *печатный каталог* этой коллекции Фрейслебена – 1820-х годов, чрезвычайно ценной. Нашли в библиотеке Общ[ества] исп[ытателей] прир[оды]... Но одна заслуга Толстопятова: создание лаборатории. Это заслуга Кислаковского. Она была с иголки – только временами работал Кислаковский. Он делал анализы минер[альных] вод. Мне кажется, работа по анализу метеоритов была, в сущности, неудачной работой любителя. И этот анализ должен быть переделан.

В сущности, было полное домашнее хозяйство. По-видимому, Т[олстопятов] был ленив и любитель пожить. Он “работал” на дому...

Шкляревский давно умер. Тогда Л.Л.Иванов (где-то он? жив ли? был в Днепропетровске – Екатеринославе) нам предложил взять минералогическую коллекцию графа Румянцева в Румянцевском музее...

Я вскоре смог поставить преподавание более совершенно, чем при Т[олстопятове]. Гониометр – “современный” для того времени был – но никто на нём не работал ещё. Он был выписан, (т[ак] к[ак] Толст[опятов])

³ *Попов С.П.* Минералогический кабинет Московского университета в период 1894-1908 гг. // Очерки по истории геологических знаний. – Вып. 11. – М.: Наука, 1963. – С. 24-25.

был декан), но <ещё только> устраивалась лаборатория, которая по той же причине была устроена и хорошо.

Я выстроил в большой профессорской комнате огромный шкаф, окрашенный бурой краской, занимавший 1/3 комнаты с потолком, доходящим до потолка комнаты. Здесь работали одновременно 2-3 человека с гониометрами и рефрактометрами. Позже и в другой комнате была сделана такая надстройка в аудитории, когда она оказалась в полном нашем распоряжении. Тут потом работала Ел[изавета] Дм[итриевна] <Ревуцкая> – член Об[щества] исп[ытателей] пр[иро]ды...

С тех пор моя работа шла, всё расширяясь. Около меня сплотились ученики и сам я рос. Московский период моей научной жизни был чисто минералогический и кристаллографический, но уже в это время зарождалась геохимия и через изучение явлений жизни я подошёл к биогеохимии. Уже в это время я сразу вошёл в изучение радиоактивности. Много вдумывался – благодаря Ле Шателье (1887-1889) в термодинамику. История науки, особенно русской и славянской, и философия меня глубоко интересовала (Платон, Спиноза, Декарт, Кант – новые течения). Математика и астрономия не сходили с моего горизонта. В 1906 г. стал членом Академии наук и в тот же год первый раз был выбран членом Госуд[арственного] совета от университетов и выбирался все разы почти единогласно закрытой баллотировкой. Мой авторитет всё увеличивался. Умственно я быстро рос всё время.

Но значительная часть моей московской работы была разрушена Министрством нар[одного] пр[освещения] <при> Кассо.

В 1911 г. Минералогический кабинет (собственно институт) был, думаю, самым мощным институтом в Европе и лучше всего оборудованным (м[ожет] б[ыть] <лишь менее чем> у Брёггера в Христиании) и состав учёных был блестящий. В 1912 г. я собирался переехать в Петербург и усиленно заканчивал (в 1911 году) разработку плана отдельного здания для Минерал[огического] и Геологич[еского] институтов. Такая постройка была решена и сверх этого были сделаны заказы химикатов и лабор[аторной] посуды за границей – и ещё при мне это было сделано.

Помещения Минералогического и Геологического институтов были для обоих чрезвычайно расширены. Не ожидая постройки было чрезвычайно расширено и помещение Минералогического кабинета по сравнению с тем, что было это 22 года назад, когда я вступил в Московский университет (1889-1911). Мне удалось провести в факультете введение кристаллографии на математ[ическом] отд[елении] Физико-мат[ематического] фак[ультета]. В Минералогическом кабинете этот курс читал в 1911 <г.>

Ю.В.Вульф и ассист[ентом] у него был Шубников, у него была и лаборатория. На медицинск[ом] фак[ультете] минералогию читал С.П.Попов, были приват-доцентами Я.В.Самойлов (проф[ессор] Петр[овской] с[ельскохозяйственной] академии, где у него была и лаборатория), В.В.Карандеев, читавший на Высш[их] жен[ских] курсах, где у него была хорошая лаборатория, А.Е.Ферсман – уже сложившийся учёный. Это всё мои ученики, кроме Вульфа, моего сверстника. П.К.Алексат самостоятельно вёл <занятия по> паяльной трубке.

Мы все не ожидали революции, да еще такого масштаба – но надо сказать, что бездарность династии и аморализм сгруппированного около него правительственного слоя были таковы, что мы должны были это понять”⁴.

Уже за годы приват-доцентства Вернадского в Московском университете (в 1898 г. он был утверждён экстраординарным профессором) количество его учеников превысило двадцать человек: С.П.Попов, В.Г.Орловский, И.Ф.Сиома, Н.А.Скрицкий, Я.В.Самойлов, П.П.Пилипенко, В.В.Карандеев, Л.Л.Иванов, Н.И.Сургунов, А.А.Ауновский, А.О.Шкляревский, Н.Н.Тихонович, Б.А.Лури, В.Н.Мамонтов, П.К.Алексат, Г.И.Касперович, Е.Д.Ревуцкая, А.Б.Миссуна, В.В.Аршинов, А.Е.Ферсман, В.С.Гулевич, Л.В.Яковлев. Биограф Вернадского И.И.Мочалов отмечает: “Каждый из учеников, входя в научный коллектив Вернадского, приносил с собой в исследовательскую и педагогическую работу нечто своё, своеобразное и неповторимое. Из дружной среды этого коллектива вышел такой талантливый учёный, создатель собственного научного направления, как Я.В.Самойлов, оригинальные исследователи П.П.Пилипенко, В.В.Карандеев, Г.И.Касперович, Е.Д.Ревуцкая и др., незаурядные педагоги П.К.Алексат, А.О.Шкляревский... “Я чувствую, что поступил правильно, направляя главные усилия на выработку научных работников и создание традиции научной работы” – с полным основанием писал о себе Вернадский”⁵.

Весьма существенно, что Вернадский смог предложить своим ученикам реальную исследовательскую программу, которая базировалась на том, что минерал – это прежде всего продукт земных химических реакций (в любом фазовом состоянии), протекающих в земной коре. При этом главной задачей минералогии предполагалось

⁴ *Вернадский В.И.* Дневники. 1926-1934. – М.: Наука, 2001. – С. 147-150.

⁵ *Мочалов И.И.* Владимир Иванович Вернадский. – М.: Наука, 1982. – 488 с.

лось исследование минералообразующих процессов земной коры. Основное внимание обращалось на динамическое изучение последних, а не только на статическое изучение их продуктов. В основе этого научного направления были преимущественно идеи недавно возникшей физической химии и совсем новой ветви геологических наук – геохимии.

Вернадскому, глубоко изучившему историю минералогии и её основные достижения в XIX в., важно было укрепить в сознании исследователей нового поколения ведущие идеи химического этапа развития минералогии. Этот этап зародился в трудах А.Кронштедта, М.В.Ломоносова, Т.О.Бергмана и В.М.Севергина. Ведущими методами минералогии стали химический анализ и метод паяльной трубки. Переход от качественного к количественному анализу химического состава минералов, который быстро развивался после открытия трёх главных стехиометрических законов химии – закона эквивалентов, постоянных отношений и кратных отношений, позволил за несколько десятилетий детально изучить химический состав свыше ста ранее известных минералов и многочисленных вновь открываемых минеральных видов и разновидностей. Минералогия и минералоги оказались при этом не просто пассивно втянутыми в русло бурно развивавшейся химической теории, а приняли в ней самое активное и творческое участие. Коренная перестройка на химической основе всей предшествующей минералогии увлекла учёных разных стран. В связи с количественными методами анализа в этот период была установлена значительно более строгая, чем прежде, химическая тождественность минералов. Это потребовало разработки новой формулировки понятия минерального вида и разновидности. Одновременно подвергалось уточнению и общее определение понятия “минерал”, поскольку в результате дифференциации науки из объектов минералогии были целиком исключены все окаменелости и большая часть горных пород.

Точность в химической характеристике минеральных видов, применение совершенных методов измерения в физике явились важными стимулами детального изучения физических свойств минералов. Были заложены основы кристаллооптики минералов, которые открыли широкий спектр исследований кристаллов минералов. Благодаря использованию сначала прикладного, а затем отражательного гониометров получило распространение геометрическое исследование природных

кристаллов. Поэтому Вернадский сделал многое для того, чтобы его ученики овладели новой техникой и методикой исследований.

Наряду с кристаллографическим направлением в минералогии в середине XIX в. стала принимать вполне определённые контуры и наполняться содержанием самостоятельная наука – кристаллография, объектом изучения которой было кристаллическое вещество вообще, а не только природные многогранники. Кристаллография начала преподаваться в высших учебных заведениях отдельно от минералогии, и Московский университет в лице Вернадского был пионером в становлении кристаллографии как самостоятельной дисциплины.

Особое значение Вернадский придавал генетическому направлению в минералогии. Он способствовал перестройке представлений о генезисе минералов на химической основе, хотя главное внимание обращал не столько на способы образования, сколько на условия нахождения минералов в природе и особенно на их парагенезис, поскольку в этом видели надёжное подспорье для практической деятельности горных инженеров.

В программе школы Вернадского достойное место заняли систематические сводки по топографической минералогии России и отдельных её регионов, например, Крыма, Урала, Средней Азии.

Вернадский хорошо понимал и широко пропагандировал в среде минералогов возможности периодической системы химических элементов Д.И.Менделеева, которая существенно расширила методологический смысл перестройки минералогии на химической основе. Система Д.И.Менделеева логически завершила атомно-молекулярную теорию, поставила неорганическую химию на прочный фундамент, позволила уточнить величины ранее принятых атомных масс элементов, исправить ошибочные значения валентности некоторых из них и привести в надлежащий вид химические формулы минералов. К концу XIX в. общее число открытых и изученных минералов (среди которых еще частично сохранялись скрытокристаллические породы, вулканические стекла и каустобиолиты) возросло примерно на 200 видов, т.е. в полтора раза по сравнению с 1850 г. Намного увеличилось количество минеральных видов в классе силикатов, изучению которых в тот период минералогии и химии уделяли значительное внимание. Детальный анализ минералов привел к открытию 20 новых химических элементов.

Вернадский придавал большое значение в прогрессе теоретических и генетических представлений минералогии широко развернув-

шимся во второй половине XIX в. работам по синтезу минералов. Их цель – выяснить способ образования минералов в природе, изучить влияние условий кристаллизации на форму минералов и последовательность их выделения из расплава, выяснить химический состав минералов, изоморфные замещения в них элементов и характера химического изменения минералов, а также получить хорошо окристаллизованные индивиды уже известных минералов или пока ещё не обнаруженных в природе соединений для точного изучения их свойств, формы и для заполнения пропусков в классификации. Следует упомянуть, что Вернадский в 1891 г. доказал исключительную устойчивость силлиманита при высоких температурах и подтвердил это распадом при нагревании многих силикатов алюминия с выделением силлиманита. Исследования по синтезу минералов предоставили очень важный фактический материал для построения теории химической конституции минералов вообще и силикатов в особенности. Его ученики также были увлечены экспериментальными исследованиями в минералогии, которые принесли свои плоды уже в XX в.

В 1910 г. Вернадским на основе накопившихся фактов и первых обобщений физико-химических исследований была по-новому изложена проблема изоморфизма в минералогии, который вернулся к правильным представлениям Э.Митчерлиха об атомной природе этого явления. Вернадский выделил благородные газы, затем С, N, O и Be как элементы, не дающие изоморфных соединений, а все остальные поместил в таблицу, объединив их в 18 изоморфных рядов, благодаря чему она приобрела практическое значение для минералогов и химиков. Учитывая влияние, которое оказывает на изоморфизм среда минералообразования (физико-химические факторы, время и давление), он детализировал изоморфные ряды, выделив для каждого наиболее характерные термодинамические области существования – кору выветривания, метаморфическую оболочку и магматическую область. Эта таблица не потеряла своего значения и позднее, хотя теория изоморфизма далеко шагнула вперёд.

В.И.Вернадский внёс вклад и в разработку другой актуальной проблемы – проблемы строения (химической конституции) силикатов, которая стала в минералогии одной из главных вследствие сложности их состава и наибольшей распространенности в природе. Разумеется, решение этой задачи в то время, когда атомное строение минералов экспериментально ещё не было доказано и изучено,

являлось достаточно приблизительным. Приходилось прибегать к косвенным методам и аналогиям. Это были природные наблюдения и экспериментальные данные об их образовании и разрушении, физические и химические их свойства, а также изучение изоморфных замещений и полиморфных превращений в силикатах. В качестве объектов для аналогии явились быстро развивавшаяся в этот период органическая химия со своими теоретическими представлениями и теория комплексных соединений со структурными формулами, основанными на валентности атомов.

В начале XX в. сформировалось два основных подхода к учению о минералах. В первом, представленном работами Г. Чермака, П. Грота, Р. Браунса, Е. С. Фёдорова, отчасти П. А. Земятченского, А. В. Нечаева и позже А. К. Болдырева, отстаивался взгляд на минералы как на твёрдые, преимущественно кристаллические, составные части земной коры, важнейшими сторонами природы которых считались химический состав и внешняя форма. При таком подходе, который представлял собой первые шаги кристаллохимического направления в минералогии, главные задачи её усматривались в изучении химического состава минералов, их кристаллической формы и свойств. Вопросы происхождения и изменения минералов отходили при этом на второй план.

Другое направление, возглавляемое преимущественно В. И. Вернадским, А. Е. Ферсманом и Н. М. Федоровским, базировалось на том, что минерал – это прежде всего продукт земных химических реакций (в любом фазовом состоянии), протекающих в земной коре. Главной задачей минералогии считалось исследование минералообразующих процессов земной коры, в котором основное внимание обращалось на динамическое изучение последних, а не только на статическое изучение их продуктов.

Первое направление в минералогии опиралось в основном на кристаллографию, которая к этому времени благодаря успешному развитию теории симметрии дисконтинуума и прогрессу в изучении структуры кристаллов становится вполне самостоятельной ветвью физико-математического цикла наук и по-новому влияет на минералогию. В основе второго направления были преимущественно идеи недавно возникшей физической химии и совсем еще новой ветви геологических наук – геохимии, основоположниками которой были В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман.

Научная программа Вернадского формировалась на протяжении всех двадцати лет пребывания его в Московском университете и далеко не во всех своих деталях она дошла до его учеников. Важно иное: в течение всего этого периода Вернадский своим личным исследовательским примером заразил их стремлением овладеть в совершенстве приёмами работы в химической лаборатории и уделять самое тщательное внимание при полевым исследованиям вопросам генезиса и парагенезиса минералов.

Сам Вернадский вспоминал о постановке исследований в области минералогии и кристаллографии в Московском университете: "... И в поле и в лаборатории выступало на первое место изучение парагенезиса минералов; стали совершаться минералогические экскурсии (чуть ли не впервые в университетском образовании в России); получило значение изучение жидких и газообразных минералов и исследование минералогии осадочных пород. Уже в это время на каждом шагу мы сталкивались со значением жизни, как с фактором образования и изменения минералов, и в действительности всё ярче вырисовывались для нас линии другой науки – геохимии, истории не минералов, а химических элементов в земной коре; полное значение этих последних обобщений было в это время, однако, нами не осознано. Но эти искания проникали в нашу работу. В основу всего было положено возможно точное физическое (в том числе кристаллографическое) и химическое изучение минералов и их наблюдение – парагенетическое – в поле и в лаборатории. Каждый обучающийся проводил кристаллографическое исследование (и вычисление какого-нибудь вещества, главным образом искусственного) и делал полный химический анализ минерала. Работа выбиралась так, чтобы учащийся получал новые, раньше никому не известные, количественно выраженные факты. Значительная часть этих новых данных печаталась. В тесной связи с такой постановкой работ института шло составление и систематизация минералогической коллекции, причём составленный географический и систематический полный карточный каталог был сделан в значительной части даровым и добровольным трудом лиц, работавших в кабинете. И во время экскурсий, и в дружной семье института шли всё время беседы и обсуждения разнообразных научных вопросов. Несомненно, эти беседы сами по себе возбуждали научную мысль, научные искания и давали знания”⁶.

⁶ *Вернадский В.И.* Из истории минералогии в Московском университете (Памяти профессора Я.В.Самойлова) // Очерки по истории геологических знаний. – Вып. 5. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 181.

Значимым фактором для становления исследователя в геологических науках Вернадский считал работу в поле, в экспедициях по сбору фактического материала, в том числе и для лабораторных исследований. Фактически все его ученики летом работали в экспедициях в разных уголках России.

Вернадский понимал, что исследовательские потенции учеников можно развить через профессиональную коммуникацию, в частности путём отстаивания своих позиций в публичных выступлениях. В ноябре 1901 г. при минералогическом кабинете Московского университета был организован Минералогический кружок, в состав которого вошли ученики и сотрудники Вернадского. На первом заседании кружка 22 ноября его председателем был избран Вернадский. За десять лет существования кружка на его заседаниях было сделано 77 докладов, из которых составили сообщения о результатах оригинальных исследований докладчиков. В числе авторов докладов были такие впоследствии выдающиеся учёные, как А.Д.Архангельский, А.Е.Ферсман, Ю.В.Вульф, А.В.Шубников, Я.В.Самойлов. Вернадский на заседаниях кружка выступал 11 раз, одно из сообщений им было сделано совместно с А.Е.Ферсманом.

В связи с уходом из Московского университета и переездом в Петербург Вернадский потерял возможность участвовать в работе Минералогического кружка (на новом месте работы, в Геологическом и Минералогическом музее Академии наук им со временем был организован такой же кружок), в Москве его подменил его ученик Я.В.Самойлов, который в то время уже заведовал кафедрой в Московском сельскохозяйственном институте.

Большое внимание в работе с учениками Вернадский уделял публикации научных результатов, в частности ориентировал их на публикацию в ведущих европейских журналах по минералогии и кристаллографии.

Яркие воспоминания о работе в школе Вернадского оставил самый выдающийся его ученик А.Е.Ферсман.

“Был 1903 года. Две маленькие полутёмные комнаты в старом здании Московского университета и на площади едва в двадцать квадратных метров – семь рабочих столов химиков-минералогов. В полутёмном подвале – вытяжные шкафы для химических работ. На окне той же комнаты – точные химические весы. Огромная белая печка. Такова была минералогическая лаборатория профессора Владимира Ивановича Вернадского, из которой

вышло огромное число прекрасных ученых-исследователей и где зарождались идеи, положившие потом основу целой научной школе.

Когда я приехал в Москву – здесь работало “молодое поколение”. Здесь был Г.О.Касперович, открывший богатое месторождение индия в цинковой обманке Закавказья. Здесь несколько позднее начинал свою работу и А.А.Твалччелидзе <...>

Нашу пёструю семью, то целыми ночами выпаривавшую химические растворы, то принимавшую бурное участие в студенческих сходках, объединял главный помощник В.И.Вернадского – Павел Карлович Алексахин. Строгий, на вид сухой. Под его руководством мы прошли блестящую школу. Он проверял каждый наш шаг, заставляя повторять анализы много раз, до тех пор, пока они не давали положительного результата.

Много интересных минералов привозил П.К.Алексахин из своих многочисленных путешествий по России. Он первый обратил внимание на полезные ископаемые Ильменских гор и вместе с ссыльным поляком Шиш-



В.И.Вернадский и его ассистенты
в Московском университете (слева направо):
В.В.Карандеев, Г.И.Касперович, А.Е.Ферсман, П.К.Алексахин.

ковским первый намечал практическое использование ильменского нефелина. Особенно он был беспощаден и строг к печатному слову. Каждую нашу статью, сдаваемую в печать, он просматривал критически, беспощадно выбрасывая каждое лишнее слово, стремясь к точности, ясности и краткости изложения. Свои анализы он проводил совместно с нами, но мы никогда не знали точно, чем он занимается.

Длинный, низкий коридор, проходивший мимо знаменитого конференц-зала, вёл в верхний этаж, к которому мы относились с некоторым страхом. Там был большой кабинет Владимира Ивановича Вернадского с спектрографическими установками. Там был огромный зал с великолепными старыми коллекциями Московского университета. Там сидели старшие ассистенты профессора, ныне уже покойные – Я.В.Самойлов, Н.И.Сургунов и В.В.Карандеев.

Почти каждый день В.И.Вернадский спускался к нам вниз, в нашу лабораторию. Не без трепета ожидали мы его прихода, его неизменного – “Что у Вас?”. Он был полон интереса ко всем нашим темам, его увлекали тогда проблемы химии минералов и тогда уже витавшие в воздухе идеи молодой геохимии.

Каждый месяц наверху происходили собрания минералогического кружка, на которых мы делились опытом своих работ и на которых В.И.Вернадский всегда развивал перед нами свои новые идеи.

Все мы должны были работать в музее над коллекциями. В.И.Вернадский настаивал, чтобы мы систематически просматривали минералы, чтобы “набивали” глаз на сотнях, тысячах образцов, чтобы учились определять присылавшиеся к нам образцы, умели точно записывать их в инвентарь.

Пришла весна, и Владимир Иванович со свойственным ему увлечением потянул нас в экскурсии и экспедиции. Он рассказывал, что на факультете не понимают, как необходимы для минералога настоящие экспедиции. Что экспедиции нужны геологам, это всем было очевидно, но чтобы нужны были поездки и минералам, – это совсем непонятно. Ведь они должны сидеть у себя в кабинете, измерять кристаллы и делать химические анализы минералов. Но Владимир Иванович был другого мнения.

Первые наши студенческие поездки проводились под самой Москвой – в Хорошеве, Дорогомилове, Мячкове, Подольске. Особенно мы любили ездить в Дорогомилово. Там около старого пивного завода была замечательная каменоломня, ныне уже не существующая. Здесь в плотном известняке попадались целые жеоды или прослойки плотного бурого кремня.

Разобьешь молотком жеоду, а внутри пустота, выстланная кристаллами горного хрусталя или известкового шпата. Если около Обираловки эти же кристаллики приобретали светло-фиолетовый оттенок аметиста, то здесь они были чисто белого цвета. Помню, как однажды Владимир Иванович, близко присматриваясь к этим кристаллам, обратил наше внимание на то, что все они короткостолбчатые, что в них штриховка идет по базопинокоиду, тогда как в настоящих горных хрусталях кристаллы вытянуты с вертикальной штриховкой.

В сущности, это были первые идеи о типоморфных минералах. Типоморфными минералами мы называем такие минеральные тела, свойства которых закономерно и определенно меняются в зависимости от условий их образования (таким образом, могут изменяться цвет, форма кристаллов, их облик, химический состав и т. д.). Сейчас типоморфные минералы занимают целый раздел нашей минералогии”⁷.

Павел Карлович Алексах (1868-1913), минералог, кристаллограф, химик, ученик В.И.Вернадского, был фактически правой его рукой при формировании научной школы. Он окончил математическое и естественное отделения в Московском университете, старший ассистент В.И.Вернадского, заведующий химической лаборатории, один из наиболее своеобразных и талантливых, подававших большие надежды представителей его минералогической школы. Глубоко интересовался химией минералов, в частности спектроскопией; а также примесями редких элементов в минералах. В Московском университете проводил занятия по кристаллографии и минералогии, в частности по определению минералов с помощью паяльной трубки. Полевые исследования вёл главным образом в Фергане.

В.И.Вернадский посвятил его памяти небольшую статью, в которой писал: “Человек больших знаний, окончивший оба отделения физико-математического факультета, он сознательно не хотел идти дальше “младшего преподавателя”. В 1897 г. он стал хранителем Минералогического кабинета Московского университета и в 1913 г. на этом посту умер. Но и эту работу он взял на себя только потому, что ассистентство по минералогии давало ему, не обладавшему достаточными материальными средствами, возможность вести научную исследовательскую работу в той научной области, к которой влеклась его личность и которая требовала силы современной лаборатории. Когда ему явилась необходимость большего заработка, он нашёл

⁷ *Ферсман А.Е.* Путешествие за камнем. – Л.: Детгиз, 1956. – С. 45-46.

его в частных промышленных предприятиях, куда приложил свои знания минералога и химика, но и в эту область он уходил только постольку, поскольку это было необходимо для получения тех средств, какие казались ему нужными для выработанного им уклада жизни. Настоящая его жизнь шла не в развитии широкой профессорской или промышленной деятельности; он ревниво и стойко отходил от возможностей жизни в этих областях, видя впереди лишь одну, более дорогую и более, казалось ему, высокую цель, которой для него была свободная творческая научная работа в областях мало изведанных, полных загадочности и обаятельных своей трудностью и красотой нового и нечаянного... Метод анализа паяльной трубки, незаменимый с педагогической точки зрения, приучающий к точному наблюдению и опыту, имеет, помимо этого, и большое практическое значение. Именно поэтому эта область аналитической химии и минералогии находится сейчас в расцвете. Каждый год даёт в ней новое, и она все глубже проникает в преподавание. При П.К.Алексате она стояла в Москве на уровне, равном с лучшими высшими школами Запада и Северной Америки. В его руках в преподавании её не было рутины – он шёл всё время вперед»⁸.

Вернадский заботился о достойном трудоустройстве своих учеников, благодаря чему многие из них стали работать во многих университетах России. Я.В.Самойлов после защиты магистерской диссертации в Московском университете занял кафедру минералогии в Новоалександрійском институте сельского хозяйства и лесоводства. Работая в Новой Александрии Самойлов организовал экскурсию Вернадскому в Царство Польское. Вернадский приехал с сыном Георгием (которого дома звали Гулей, будущим профессором-историком), с учениками И.Ф.Сиомой и К.А.Ненадкевичем. Эта поездка произвела на Вернадского глубокое впечатление. Интересно, что во время этой экскурсии он задумался о своей школе минералогов в Московском университете, и эти раздумья вполне актуальны: "... Я чувствую себя довольно странно – в качестве уже старого профессора. Мы смеёмся, что я окружён учениками разных генераций – профессор Самойлов, ассистент Сиома, студент Ненадкевич и гимназист Гуля <...> Здесь разговоры с Сиомой и Самойловым ставят передо мной много нового в смысле оценки тех сторон деятельности, которую я как-то упускал из виду и не принимал во внимание. Это совершенно новые отношения самостоятельно

⁸ *Вернадский В.И.* П.К.Алексат // Известия РАН. 6 серия. – 1917. – Т. 11. – № 4. – С. 267-268.

работающих учеников и их старшего товарища. Оказывается, они гораздо больше сознают себя школой, чем я... Я не понимал, что, в сущности говоря, и по методам работы и по целям все, у меня работавшие, представляют нечто цельное и уже между ними идут с другими споры, толки и разговоры – они возбуждают и возражения и нападают; в то же время все чувствуют себя чем-то единым. Для меня это совершенно неожиданно, и я в сильной степени, гораздо более резкой, чем раньше чувствую ответственность за характер и направление работ своих учеников...” (Из письма Н.Е.Вернадской, 6, 8, 9 апреля 1903, Кельцы)⁹.

Яков Владимирович Самойлов (1870-1925), увлекшийся минералогией в Новороссийском университете (в 1893 г. он с отличием окончил естественное отделение физико-математического факультета Новороссийского университета), нашёл на кафедре минералогии, возглавлявшейся В.И.Вернадским, и в минералогическом кабинете Московского университета лучшую исследовательскую обстановку в России в этой области. Заинтересовавшись минералогией и кристаллографией, Я.В.Самойлов в 1895 г. переезжает в Москву и начинает работать в Московском университете под руководством В.И.Вернадского. На протяжении нескольких лет Яков Владимирович выполнил серию экспериментальных и экспедиционных работ, неоднократно выезжал на горные и металлургические предприятия, оказывая им научно-техническую помощь. В.И.Вернадский многое сделал для Я.В.Самойлова, начиная от интимного момента перехода в православие (он был крёстным отцом и отчеством Я.В.Самойлова от него) до приобщения его не только к активной исследовательской работе, но и к преподаванию, где у Я.В.Самойлова обнаружился несомненный талант и высокие потенции.

В 1906 г., после защиты в Московском университете докторской диссертации на тему “Минералогия



Я.В.Самойлов.

⁹ Страницы автобиографии В.И.Вернадского. – М.: Наука, 1981. – С. 194-195.

жилых месторождений Нагольного кряжа” Я.В.Самойлова избирают профессором Московского сельскохозяйственного института (ныне Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева), в котором он работает до конца жизни. Он – первый из учеников Вернадского, ставший профессором. В 1907 г. Яков Владимирович приглашается по совместительству в Московский университет, где он ведёт преподавание минералогии в качестве доцента. В 1911 г. он покидает университет вместе с частью профессоров и преподавателей в знак протеста против реакционного режима, введённого царским министром народного просвещения Л.А.Кассо. Обладая огромной трудоспособностью, Яков Владимирович читает лекции для учителей, инженеров и агрономов, преподаёт в Народном университете им. Шанявского, участвует в работе научных обществ. В 1917 г. Я.В.Самойлов возвращается к работе в Московском университете, избирается профессором и директором научно-исследовательского института минералогии в университете.

Вместе с Д.Н.Прянишниковым и Э.В.Брицке Яков Владимирович в 1917 г. организовал общественный Комитет по удобрениям. Перед Комитетом его организаторы поставили цель – создание крупной отечественной туковой промышленности и широкого применения удобрений на основе разностороннего изучения геологических, химических, биологических, технических и экономических аспектов этой проблемы. Эта выдающаяся идея Я.В.Самойлова и необходимость комплексного исследования больших проблем коллективом различных специалистов с целью более быстрого и качественного её разрешения потребовала создания сильной экспериментальной и экспедиционной базы, которая и была создана ВСНХ в 1919 г. в виде Научного института по удобрениям. Организация института была осуществлена в значительной мере по инициативе и плану Я.В.Самойлова, ставшего первым директором института. Для укрепления положения института Я.В.Самойлов в 1920 г. встречался даже с председателем Совнаркома В.И.Лениным и заручился его поддержкой.

В последние годы жизни Я.В.Самойлов – член коллегии Научно-технического совета ВСНХ, председатель Комитета по удобрениям при Президиуме ВСНХ, активно и деятельно сотрудничает с Институтом прикладной минералогии, организует комплексные геохимические работы в Плавучем морском институте, в котором он возглавил

геолого-минералогические исследования, работает в Комиссии по изучению естественных производительных сил России Академии наук СССР, участвует как консультант Госплана, Президиума ВСНХ, съездов химической промышленности и других организаций.

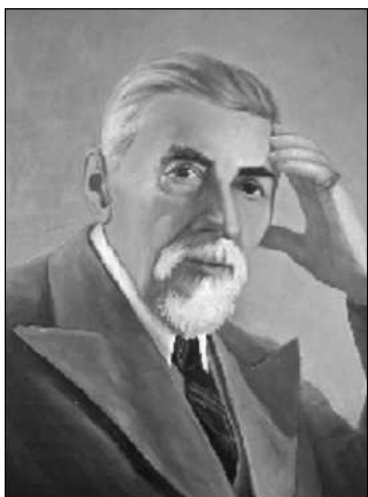
Вклад Я.В.Самойлова в геологию фосфоритов, науку об осадочных породах, минералогию и геохимию весьма значителен и до сих пор ещё не раскрыт в достаточной мере. Особенно это касается оригинального обоснования биогеохимии и минералогии скелетов организмов.

Известный специалист по наследию В.И.Вернадского В.П.Волков пишет: "... На закате жизни Вернадский по-новому определил роль Самойлова в биогеохимии: "Мой ученик и друг, Я.В. Самойлов, с которым мы много говорили в начале XX столетия об этих биогеохимических проблемах, первый глубоко, самостоятельно и оригинально пошёл по этому пути, точно, научно к ним подошёл <...> Он в этой области <...> выдвинул новые проблемы, конкретно поставленные и сведённые к меру и числу <...> Данные им направления в этой огромной области не замрут <...>".

Интересно отметить, что в статье "Биогеохимия", написанной А.Е. Ферсманом для 2-го издания Малой Советской Энциклопедии (1932), Я.В. Са-

мойлов назван наравне с В.И.Вернадским, когда речь идет об основателях этой науки. Впоследствии имя ученика Вернадского ушло в тень великого учителя и осталось в ней навсегда"¹⁰.

Сергей Платонович Попов (1872-1964) пришёл в минералогический кабинет и лабораторию Вернадского студентом. Причём он был из самого первого состава его студентов. Он оставил воспоминания об этих первых годах школы Вернадского, которые интересны и ныне, спустя много десятилетий. В частности, он рассказал о тех представителях школы Вернадского, которые рано ушли из жизни, не смогли себя реализовать:



С.П.Попов.

¹⁰ Волков В.П. Вернадский и Самойлов: тайные обиды // Вернадский В.И.: pro et contra. – СПб.: РХГИ, 2000. – С. 172.

В.В.Карандеев, Н.И.Сургунов, И.Ф.Сиоме. Уже в студенчестве и в первые годы после окончания университета С.П.Попов вполне состоялся как исследователь. Уже в студенчестве он осуществил с Вернадским весьма плодотворные минералогические экскурсии по Крыму, который на всю жизнь стал его минералогической провинцией. Его контакты с Вернадским продолжались и в последующие годы.

Первая публикация Сергея Платоновича “О кристаллизации левого аспарагина” напечатана в “Бюллетене Московского общества испытателей природы” в 1898 г. С МОИП он был тесно связан в московский период его деятельности. Общество давало небольшие средства на экскурсии. Из своих путешествий по Крыму С.П.Попов привозил весьма представительные сборы минералов в минералогический кабинет Московского университета. В 1898 г. Вернадский и Попов совершили экскурсию в Крыму на Еникальские грязевые вулканы и опубликовали несколько совместных статей, в том числе и за рубежом. Вообще среди публикаций С.П.Попова в дореволюционный период есть ряд, вышедших в зарубежных журналах. После того, как Вернадский перебрался в Петербург, он помог С.П.Попову публиковаться в академических изданиях. Сергей Платонович продолжал последовательно заниматься минералогией Крыма и скоро превратился в её знатока.

Какое-то время перед мировой войной Сергей Платонович работал в Институте сельского хозяйства и лесоводства в Новой Александрии. В 1918 г. с основанием Таврического университета в Симферополе он стал профессором минералогии в нём. Здесь в 1920 г. состоялась его встреча с Вернадским, который одно время исполнял обязанности ректора. Преподавательская деятельность Попова в Симферополе продолжалась и после того, как университет был преобразован в педагогический институт.

В 1934 г. его пригласили заведовать кафедрой минералогии в Воронежский университет, который возник в годы мировой войны после эвакуации в Воронеж Юрьевского (Тартуского) университета. Здесь ему удалось сделать очень много. Он в течение нескольких лет сформировал минералогический кабинет и химико-аналитическую лабораторию по типу тех, которые организовал в Московском университете Вернадский. Даже стиль его работы со студентами и научными сотрудниками был похож на стиль Вернадского. Большое значение имели организованные им практики. Его лекции и практические занятия по минералогии и геохимии были очень информативными

и насыщенными. На кафедре с ним работали будущий академик АН Украины и ректор Львовского университета Е.К.Лазаренко, а также его студент будущий академик и вице-президент АН СССР А.В.Сидоренко, который поддерживал с ним отношения, несмотря на превратности войны и послевоенной разрухи вплоть до смерти С.П.Попова и оставил о нём яркие воспоминания.

Он писал о Сергее Платоновиче как организаторе исследовательской работы: “Успеху научной работы сотрудников способствовало и то, что с первых же дней на кафедре была организована хорошая (по тем временам) химико-аналитическая лаборатория, где возможно было проведение всех классических методов анализа. С.П.Попов требовал от своих учеников, чтобы каждый из них самостоятельно выполнил несколько полных анализов минералов. Он также хотел, чтобы студент, специализирующийся по его кафедре, овладел приёмами гониометрического изучения кристаллов. А чтобы эта работа не была просто упражнением, Сергей Платонович предлагал связываться с кафедрой органической химии, брать у них кристаллы синтезированного вещества и давать его кристаллографическое описание. При этом он всегда стремился, чтобы такое описание было опубликовано.

Профессор очень внимательно и бережно относился к молодым авторам. Он просматривал наши первые научные статьи, вносил в них поправки и обычно, уезжая в Москву, брал их с собой, чтобы через В.И.Вернадского или А.Е.Ферсмана, “пристроить” для опубликования. Профессор Попов, руководя научной работой студента или начинающего исследователя, высказывая ему свои идеи, повседневно направлял его работу, а в то же время никогда не только не ставил свое имя на законченном исследовании, но и категорически отказывался быть соавтором. Он также ценил труд химиков-лаборантов, помогавших ему анализировать минерал, и обычно в описательной статье о минерале всегда ставил его фамилию как соавтора или указывал фамилию аналитика, если работа была сводной. Он никогда не забывал указать фамилию студента, который доставил ему материал для исследований. Такое внимательное отношение старого учителя к труду начинающих исследователей, к своим помощникам, какое проявлял С.П.Попов, достойно подражания и в наше время, когда соавторство, обмен материалами, использование аналитических данных, подготовленных помощниками, распространены ещё больше”¹¹.

¹¹ Сидоренко А.В. Сергей Платонович Попов (воспоминания) // Геологи высших учебных заведений Южной России. Очерки по истории геологических знаний. – Вып. 15. – М.: Изд-во АН СССР, – С. 110-111.

В годы войны, фронт, подступивший к Воронежу, заставил старого профессора с женой пройти пешком путь по фронтовым дорогам до Харькова, где их приютили преподаватели Харьковского университета. С этим университетом и связан остаток жизни С.П.Попова. А.В.Сидоренко, находившийся на фронте, долго не знал ничего о его судьбе, когда случайно увидел в военной кинохронике своего профессора, разбиравшего в руинах Харькова развалы книг университетской библиотеки.

С.П.Попов переписывался с Вернадским до конца жизни последнего. Пожалуй, он был тем его учеником, который наиболее органично усвоил дух и приёмы своего учителя в собственной преподавательской деятельности.

Павел Прокопьевич Пилипенко (1877–1940) в 1897 г. поступил на естественное отделение физико–математического факультета Московского университета и окончил его с дипломом 1–й степени (1902). Его учителем был В.И.Вернадский. С 12 октября 1902 г. П.П.Пилипенко–сверхштатный без содержания ассистент при минералогическом кабинете Московского университета. По приглашению профессора А.М.Зайцева с 1 января 1903 г. он занял должность хранителя минералогического кабинета Томского университета. В 1906 и 1908 гг. сдал в Московском университете магистерские эк-



П.П.Пилипенко.

замены и по прочтении пробных лекций получил в 1908 г. звание приват–доцента. С 1908–1909 учебного года читал в Томском университете на медицинском факультете курсы минералогии и геологии и вёл практические занятия, с 1913 г. преподавал курс минералогии на естественном отделении Сибирских высших женских курсов. С первых дней работы в университете занялся приведением в порядок минералогических коллекций. Им был сделан ряд новых определений и обработана часть научного материала. Летом 1904, 1905, 1908 и 1911 гг. совершил ряд экспедиций на территории Западной Сибири, а в 1915 и 1916 гг. – в Восточную Сибирь (Иркутская губерния и За-

байкалье). Летом 1905 и 1906 гг. выезжал на Алтай для пополнения минералогической коллекции университетского минералогического кабинета. В эти годы им написан ряд статей, обобщающих результаты обработки собранного материала. Показал хорошее знание кристаллографических и химических методов исследования минералов. Провел огромную работу по изучению минералов Алтая, Забайкалья и Минусинского края. В своих научных работах предвосхитил некоторые идеи об образовании, составе и строении гранитных пегматитов, высказанных позднее А.Е. Ферсманом. В результате изучения геологии алтайских месторождений и их минерального состава установил закономерности распределения рудных полей в пределах Алтая, а также отдельных месторождений в пределах рудных полей¹².

В декабре 1910 г. Пилипенко выезжал в Москву для работы в минералогических музеях Московского университета и Академии наук. Богатые коллекции минералогического кабинета (музея) Томского университета и материалы минералогических исследований, проведённых им в 1911–1915 гг. в пределах Алтая и Минусинского края, легли в основу блестящей для своего времени работы “Минералогия Западного Алтая”, которую Пилипенко в феврале 1916 г. защитил в Петроградском университете в качестве диссертации на степень магистра минералогии и геогнозии. Работа получила высокую оценку официальных оппонентов профессоров А.А.Иностранцева и П.А.Земятченского. Вернадский, рекомендуя Пилипенко на должность профессора Саратовского университета в августе 1916 г., назвал его одним из выдающихся университетских преподавателей минералогии в России.

Из-за гражданской войны Пилипенко лишь в 1921 г. стал заведующим кафедрой минералогии Саратовского университета. Он явился организатором изучения минеральных богатств края: горючих сланцев, радиоактивности вод естественных источников, глауконита, широко распространённого в меловых отложениях Саратовского Поволжья и связанных с ним рудопроявлений лития, калия, рубидия и бора. Им был создан при университете минералогический музей и открыта минералогическая лаборатория. Организовал экскурсии на места падения метеоритов на ст. Летяжевка Юго–Восточной железной дороги, на ст. Шунка и озеро Эльтон.

¹² Профессора Томского университета. Библиографический словарь. – Т. 2. 1917–1945. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1998. – С. 344–346.

В 1927 г. по рекомендации В.И.Вернадского и А.Е.Ферсмана П.П.Пилипенко был избран профессором кафедры минералогии и кристаллографии Московского университета. С 1930 по 1940 гг. – заведующий кафедрой минералогии и кристаллографии Московского геологоразведочного института (МГРИ), одновременно оставался профессором кафедры минералогии МГУ. Заместитель директора по учебной и научной работе МГРИ. Основные научные работы посвящены региональной и генетической минералогии, петрографии, геохимии, кристаллографии. Интересовался метеоритикой и в 1910 г. описал алтайский метеорит. Исследовал геохимию лития, бора, свинца и цинка, доказав возможность концентрации лития в гипергенной зоне. Ввёл статистическое понятие о реактивной способности элементов.

Самым выдающимся учеником школы Вернадского был *Александр Евгеньевич Ферсман (1883-1945)*, который известен не менее своего учителя и которм речь пойдёт в следующем разделе.



А.А.Твалчрелидзе.

Ученик В.И.Вернадского *Александр Антонович Твалчрелидзе (1881-1957)* – минералог и петрограф, академик АН Грузинской ССР. Преподавал в Новочеркасском политехническом институте, возглавлял кафедру минералогии и петрографии Тбилисского государственного университета. В 1929 г. основал Кавказский институт минерального сырья, руководил им до конца жизни. Институт неуклонно рос, многое сделал для открытия, изучения и освоения месторождений полезных ископаемых в Кавказском регионе. А.А.Твалчрелидзе – один из первых грузинских академиков. В его честь назван минерал твалчрелидзеит.

Леонид Ликарионович Иванов (1877-1946) в 1897 г. поступил на естественное отделение физико-математического факультета Харьковского университета, затем перевёлся в Московский университет к Вернадскому. После окончания университета исполнял обязанности внештатного ассистента кафедры минералогии, проводил

практические занятия со студентами по кристаллографии и заведовал минералогическим музеем. По заключению Вернадского, плодотворным оказалось предложение Л.Л.Иванова использовать для пополнения коллекций минералогического кабинета собрание минералов Румянцевского музея. Несколько лет Л.Л.Иванов проработал лаборантом и ассистентом известного геолога А.В.Нечаева на кафедре минералогии и геологии химического отделения Киевского политехнического института. Осенью 1908 г. при поддержке Вернадского он был избран по конкурсу профессором кафедры минералогии Екатеринославского высшего горного училища (с 1912 г. Горный институт), где проработал до конца жизни. В 1913 г. Л.Л.Иванов вошел в оргкомитет подготовки открытия в Екатеринославе Высших женских курсов и с 1916 г. преподавал на них минералогию. В 1933 г., после возобновления работы Днепропетровского университета, он стал заведующим кафедрой минералогии, продолжая работать в Горном институте.



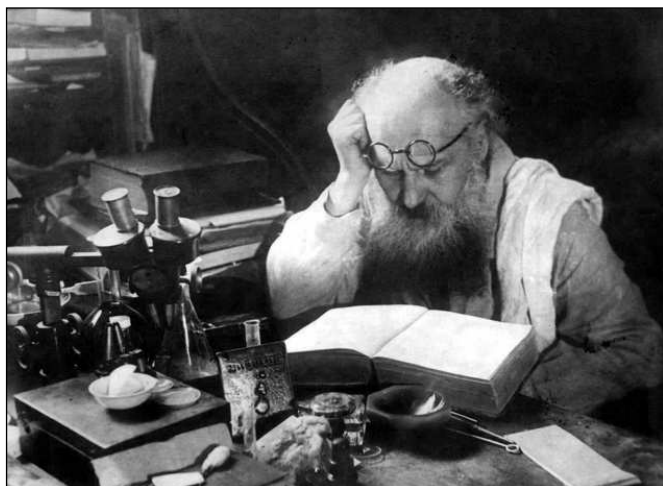
Л.Л.Иванов.

Как профессор минералогии он достиг высокого мастерства и снискал заслуженную славу. Часто читал лекции по своему любимому предмету на рабочих курсах, вёл спецкурсы для школьников и взрослых в геолого-минералогическом музее Горного института. Он изучал графитовые и марганцевые месторождения Екатеринославской губернии. В 1924 г. в Харькове на Съезде по изучению продуктивных сил Украины Л.Л.Иванов выступал с докладом о радиоактивных минералах. В Мариупольском округе сначала по собственной инициативе, а потом по поручению правительства СССР он исследовал нефелиновые породы, которые используются в производстве стекла. Л.Л.Иванов – член Российского и Немецкого минералогических обществ, неоднократно бывал в командировках за рубежом. Участвовал в экспедиции на Новую Землю. Поддерживал переписку с Вернадским до конца жизни.

Он внёс также значительный вклад в развитие практической инженерной геологии Юга Украины. Осенью 1913 г. по приглашению управления сооружения железнодорожной линии Мерефа-Херсон он произвёл геологические исследования на месте проектированного вблизи Екатеринослава туннеля между станцией Лощманской и разъездом Встречным, а также железнодорожными мостами этой дороги через Днепр и Мокрую Суру. Л.Л.Иванов был известным специалистом по оползням. В 1916 г. он принимал участие в работе особой технической комиссии по борьбе с оползнями в Киеве, в 1922-1924 годах был консультантом технической комиссии при управлении Мерефо-Херсонской железной дороги по вопросам консервации и оползней туннеля.

В годы войны, уже будучи в преклонном возрасте, он многое сделал для спасения геолого-минералогического музея и библиотеки по минералогии. Учебник Л.Л.Иванова “Определитель минералов” многократно переиздавался.

Ученик В.И.Вернадского *Константин Автономович Ненадкевич (1880-1963)* после окончания Московского университета (1902) и Горного института в Петербурге (1905) работал в различных геологических учреждениях Академии наук (Минералогический музей, Радиевый институт, Геологический институт, Институт минералогии и геохимии редких элементов), геохимик и минералог, член-корреспондент АН СССР (1946). Участник радиевых экспедиций Вернадского. Работы посвящены геохимии, промышленной минералогии. При исследовании ферганских урановых минералов открыл (1912) минерал тую-



К.А.Ненадкевич.

мунит (водный уранилванадат кальция). Разработал (1916–1920) технологию производства металлического висмута из отечественного сырья и реализовал её в промышленности. Исследовал (1920–1924) минеральные соли Доронинского содового озера. Определил (1926) химическим путём возраст одного из наиболее древних минералов – уранинита. Изучал (с 1934) руды и минералы редких, рассеянных и благородных металлов (платинидов и золота в сульфидах, бериллиевых и цезиевых минералов, ванадиевых руд и др.). Предложил (1940) мокрый процесс разложения руды и извлечения золота из нерастворимого осадка, а также электролитический способ рафинирования золота из амальгам (1952). Выдвинул (1943) теоретические представления об относительной кислотности и основности химических элементов (“принцип клина”) и, руководствуясь ими, создал ряд тонких химических методов разделения пар элементов, близких по химическим и физическим свойствам (бериллий – алюминий, цирконий – гафний, никель – кобальт, ниобий – тантал). Лауреат Сталинской премии (1948) за разработку методов анализа и технологии извлечения редких элементов из руд. В честь К.А.Ненадкевича названы минералы ненадкевит (разновидность коффинита) и ненадкевичит.

К прямым ученикам В.И.Вернадского-минералога следует также отнести *Владимира Васильевича Аршинова*, а к косвенным – *Николая Михайловича Федоровского*, о которых речь пойдёт в разделе об Институте прикладной минералогии.

Можно сделать вывод, что школа минералогов, сформированная В.И.Вернадским в Московском университете оказалась весьма плодотворной и во многом определила пути развития минералогии и геохимии в XX веке.

**А.Е.Ферсман
как минералог
и поэт камня**

Александр Евгеньевич Ферсман (1883–1945) – основоположник науки XX века геохимии и реформатор минералогии. Его научный авторитет был велик во всём мире. Учёный оставил более 900 научных работ по различным отраслям знания, был крупным и талантливым

популяризатором науки, его книги переиздаются и читаются новыми поколениями людей. А.Е.Ферсман был руководителем школы со-

ветских минералогов, на долгое время определившим пути развития минералогии и геохимии.

Александр Евгеньевич Ферсман родился в Петербурге 8 ноября 1883 г. Отец и мать оказали большое влияние на воспитание и образование сына, прививали ему любовь к камню. Детство А.Е.Ферсмана прошло в Крыму и Одессе.

Уже в раннем возрасте он увлёкся собиранием минералов и горных пород. Свою первую минералогическую коллекцию он собрал в шесть лет. Он сам замечательно описал в своих увлекательных поэтических книгах “Занимательная минералогия”, “Путешествия за камнем”, “Воспоминания о камне”, как происходило становление его интереса к минералам, ставшее путеводной звездой всей его жизни.

“Моё увлечение минералами росло с каждым годом... Крым был моим первым университетом... Он научил меня интересоваться природой и любить её. Он научил меня работать, раскрывать тайны природных богатств, и не в быстром осмотре, проезжая на автомобиле или на лошади, а вот так, ползая на четвереньках в течение многих дней по одной и той же скале, следя за всеми извилинами едва заметных жил, строя по отдельным мелочам и деталям картину прошлого и фантазируя о будущем... Лишь при таком знакомстве с природой, из горячих переживаний, которые испытывает детская душа от каждой находки хорошо огранённого кристаллика горного хрусталя, и зарождается истинное понимание природы”.

Неизгладимые впечатления оставили в мальчике его поездки с родителями в Грецию и Карлсбад, где он продолжал увлечённо искать, распознавать и собирать минералы. Вот его воспоминания о минералах Карлсбада.

“Среди всего этого разнообразия – сказочные камни самого Карлсбада, осадки его горячих источников – гороховидные камни, арагонитовые натёки, целые букеты цветов, покрытые карлсбадским камнем, шкатулочки, ножики из камня... В красивых витринах магазинов лежали на стеклянных полочках кристаллы, друзы, щётки и рядом с ними виднелись мелкие цифры – цена... О, сколько детских волнений переживал я из-за этих цифр! Как много нужно было накопить сбережений, чтобы купить себе шарики родохрозита на шуфте бурого железняка или дымчатый кварц с вершины Сен-Готарда! На гулянье вдоль речонки Тепла камни можно было купить дешевле. Здесь продавались красиво разложенные на черном бархате карлсбадские двойники полевого шпата, кусочки каолина, из которого делали знаменитый чешский фарфор, оливковые бомбы и пироксены из базальтов Родисдорфа... Я изу-

чал каждый камень, выставленный в магазине. Я ещё и сейчас вспоминаю о тех нескольких штуфиках кальцита из Кемберленда, которые я купил и, о ужас, уронил по дороге и разбил. Заливаясь горькими слезами, я мог только разглядеть спайность кальцита, – и как же я проклинал эту спайность, когда мать сказала мне, что если бы её не было, то камень, пожалуй, не сломался бы... Когда я несколько подрос, я стал сам собирать минералы около Карлсбада, сам выбивал двойники полевого шпата из гранита, собирал вулканические бомбы из потухшего четвертичного вулкана Каммербюль, около Эгера, и шестигранные столбики биотита в базальтовых туфах Гисснбля. Но больше всего меня поражали карлсбадские натёки. На высоту в 9 метров била горячая струя источника Шпруделя. Целыми потоками выливалась она из чаши, отлагая на дне её бурые натёки арагонита, которые обволакивали зернышки кварца и превращали их в шарики, горошины, крупинки”.

В 1901 г. Ферсман окончил с золотой медалью Одесскую классическую гимназию и поступил на физико-математический факультет Новороссийского университета в Одессе. Страсть к познанию минералов продолжала вести его по жизни. Но теперь он много внимания стал уделять изучению химической природы минералов.

В связи с назначением отца начальником Александровского юнкерского училища в Москве, он перевёлся в Московский университет, где преподавали такие замечательные профессора, как В.И.Вернадский, А.П.Павлов и др. В университетские годы в характере Ферсмана проявилось качество будущего учёного – умение полностью отдаваться решению проблемы, забыв обо всём остальном.

А.Е.Ферсман впоследствии вспоминал о первых своих шагах в лаборатории В.И.Вернадского в Московском университете.

“Не без страха пришел я в минералогический кабинет Московского университета. Я так волновался, что не мог говорить, а профессор, смотрящий через свои большие очки, казался мне таким строгим! Он направил меня в небольшую 12-метровую комнату – минералогическую лабораторию – к своему ещё более страшному ассистенту. Мне отвели место в углу, около печки, и дали изучать кусочек минерала ярозита с острова Челекен. Так началась моя многолетняя работа у профессора Владимира Ивановича Вернадского и его ученика, трагически погибшего, Павла Карловича Алексата. Так начались замечательные пять лет моей университетской жизни в Москве, в дружной семье минералогов. Это были годы расцвета минералогических работ Владимира Ивановича. Нас было немного в его кабинете. В лаборатории мы работали не менее двенадцати часов, нередко

оставались и на ночь, если анализы шли целые сутки. Два раза в неделю мы читали доклады в кружке у В.И.Вернадского, разбирали с ним коллекции, слушали его увлекательные лекции. Университетская жизнь с блестящими выступлениями Ключевского, годы борьбы за высшую школу, огромный научный и общественный авторитет Вернадского – всё это накладывало на нас свой отпечаток, и мы гордились своей маленькой лабораторией, гордились своим музеем, гордились каждой напечатанной работой, вышедшей из нашего старого и запущенного минералогического кабинета”.

Под влиянием Вернадского у Ферсмана сформировалось новое понимание минерала: “Минерал рисовался в словах Владимира Ивановича не как что-то мёртвое, постоянное, неизменное. Мы учились понимать историю минерала: его образование из железного колчедана, его гибель в струйках воды, его превращение в новые соединения. Новыми глазами учились мы смотреть на окружающую нас природу. И каждый камень оказывался связанным с ней тысячами нитей, которые тянулись не только к каплям дождя, не только к остаткам древних раковин, но и к современной жизни, к органическим растворам поверхности, к деятельности самого человека”¹³.

Способности Ферсмана, его интерес к науке, умение трудиться до самозабвения не мог не заметить В.И.Вернадский. По его рекомендациям Ферсмана оставили при университете для подготовки к профессорскому званию. Вскоре его направили за границу, в Гейдельбергский университет, для повышения квалификации. В это время здесь работали такие крупные учёные, как кристаллограф В.М.Гольдшмидт и петрограф Г.Розенбуш. А.Е.Ферсман в Гейдельберге главным образом занимался кристаллографией алмаза. Результаты этих работ были изложены в классической монографии “Алмаз” (1911), опубликованной совместно с В.М.Гольдшмидтом. В этой работе, помимо детального описания кристаллических форм алмаза, ставится и разрешается вопрос о происхождении этих форм, выявляется различие между формами роста и формами растворения. Эта работа до сих пор рассматривается как образец минерало-кристаллографического исследования.

Кроме Гейдельберга, Ферсман побывал в Париже, вёл исследования в Италии на острове Эльба, познакомился с многочисленными месторождениями минералов в Швейцарии, Германии, Франции, Италии и других местах. Эта поездка сыграла большую роль в его

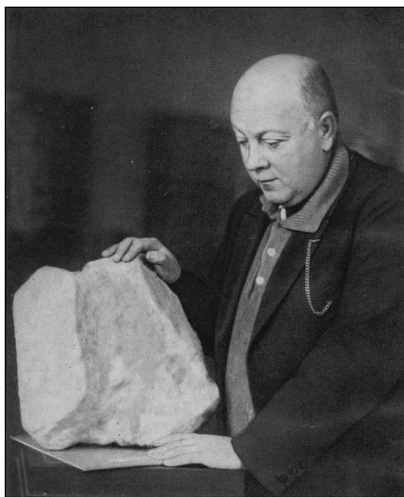
¹³ Все цитаты воспроизведены из книги А.Е.Ферсмана “Путешествие за камнем”.

жизни, так как она определила одну из основных тем его последующих работ. В связи с посещением острова Эльбы, где имелись замечательные месторождения драгоценных камней и минералов, связанных с пегматитовыми жилами, у Ферсмана пробудился большой интерес к пегматитам, представляющим собой результат кристаллизации остаточных расплавов кислой гранитной (а также и щелочной) магмы, богатых парами диссоциировавшей воды и различных летучих веществ. Для пегматитов характерна своеобразная структура, обусловленная срастанием кварца и полевого шпата, слагающих основу этой породы. Кристаллы кварца образуют на фоне полевого шпата узор, напоминающий клинообразные письма. Отсюда название пегматита – письменный гранит. С пегматитовыми жилами связаны месторождения драгоценных камней, разнообразных слюд, полевых шпатов, оловянного камня, радиоактивных и редких минералов и ряда других, представляющих большой интерес для минералога.

После возвращения из-за границы Ферсман избирается профессором минералогии Народного университета им. Шанявского, где им впервые в России был прочитан курс новой науки – геохимии. В 1909 г. Минералогическое общество присуждает ему за выдающиеся труды по минералогии золотую медаль.

С 1911 г. Ферсман вместе с Вернадским переезжает в Петербург, где избирается профессором минералогии на Высших женских курсах и становится старшим учёным хранителем Геологического и Минералогического музея Академии наук.

В последующие годы Ферсман стал изучать замечательные пегматиты и месторождения драгоценных камней Урала, Средней Азии, Украины, Забайкалья. Результаты многолетних работ по исследованию пегматитовых месторождений изложены в его классическом, пользующемся мировой известностью труде “Пегматиты, их научное и практическое значение” (1931) – крупнейшем явлении в минералогической научной литературе.



А.Е.Ферсман

Работа привлекла внимание учёных и инженеров к пегматитам, с которыми связан ряд важнейших месторождений полезных ископаемых, положила начало более углублённому изучению минералообразования вообще. Она стала настольной книгой каждого минералога и геохимика. Методы, предложенные Ферсманом, и выводы, к которым он пришёл в этой работе, широко используются с тех пор в научных исследованиях и практике.

Для А.Е.Ферсмана, как истинного представителя школы В.И.Вернадского, минералы были интересны не только сами по себе, по своим физическим и химическим свойствам, но и с точки зрения их генезиса и парагенезиса.

Ферсман подошёл к изучению пегматитов с точки зрения минералообразующего процесса и выяснения причин и закономерностей парагенезиса минералов пегматитовых пород. Ферсман показал, как в течение длительного процесса остывания магмы в строгой последовательности, определяющейся законами физической химии и термодинамики, выделяются минералы в разных сочетаниях друг с другом. Изучение их позволяет установить порядок выделения минералов и наметить температурные границы отдельных этапов этого непрерывного процесса кристаллизации. Это даёт возможность понять, почему те или другие минералы и руды всегда встречаются вместе или, наоборот, как бы избегают друг друга; почему вокруг гранитного очага те или другие руды располагаются определёнными поясами. От изучения генезиса и парагенезиса минералов пегматитовых жил Ферсман перешёл к вопросам парагенезиса и миграции химических элементов, носителями которых являются минералы, т.е. к вопросам геохимии. Ферсман стал одним из виднейших основателей этой науки, которая сделалась главной областью его исследования в последние 25 лет его жизни.

Изучение пегматитов привело А.Е.Ферсмана к более детальному изучению драгоценных камней, одним из лучших знатоков которых он был. Драгоценным камням посвящён ряд его работ, в частности монография “Драгоценные и цветные камни России” и одна из его лучших научно-популярных книг “Самоцветы России”.

Ещё одна основополагающая идея школы Вернадского получила в трудах Ферсмана глубокое развитие: минерал – продукт химических реакций в земной коре. Такой геохимический подход привёл Ферсмана к обоснованию геохимии как новой науки. И Вернадский, и Фер-

сман определяли геохимию как науку, изучающую историю атомов, элементов в земной коре, и оба ставили вопрос о расширении задач науки, изучающей химическую жизнь природы, о создании космохимии – химии Вселенной, придавали большое значение работам по определению количественного и качественного состава метеоритов, идеям о миграции атомов в мировом пространстве.

Ферсман посвятил ряд исследований проблеме выяснения относительной распространённости тех или других элементов в земной коре, так называемых кларков. Он усовершенствовал самый метод определения кларков, предложив вычислять не весовые, а атомные кларки элементов, т.е. количество атомов данного элемента, содержащееся в единице объёма.

Неравномерное распространение различных элементов в микродании Ферсман связывает со строением их атомов. Наиболее распространёнными являются элементы с наиболее устойчивыми атомами. Самыми устойчивыми и трудно разложимыми являются лёгкие чётные элементы с атомным весом, кратные четырём. К наиболее устойчивым атомам относятся первые 28 элементов менделеевской таблицы и особенно чётные номера с атомным весом, кратным четырём. Они наименее склонны к самопроизвольному распаду. Эти элементы и являются в действительности наиболее распространёнными. Наоборот, тяжёлые элементы с большим атомным номером, с громоздкими, легко распадающимися ядрами, как уран, торий, радий и т. п., весьма редки.

Вычислению кларков Ферсман придавал не только большое теоретическое, но и весьма важное практическое значение, так как повышение кларков тех или других элементов в отдельных участках земной коры в результате природных физико-химических процессов приводит к промышленной концентрации этих элементов, к образованию месторождений рудных и нерудных ископаемых.

Ферсман связал проблему распространённости химических элементов с проблемой концентрации и рассеяния вещества – двух сторон единого процесса миграции атомов, частным проявлением которого является миграция атомов в земном шаре и земной коре. Большое внимание уделяет Ферсман явлениям изоморфизма, которому он даёт новое объяснение на основании новейших достижений кристаллохимии.

Глубоки и оригинальны его идеи, касающиеся энергетики геохимических процессов. Геоэнергетическая теория Ферсмана обобщает огромный фактический материал, накопленный геохимией, минералогией, петрологией, учением о рудных месторождениях. Она даёт объяснение последовательности выделения кристаллов из остывающих растворов и расплавов, объясняет парагенезис минералов и химических элементов, распределение элементов по различным оболочкам или геосферам Земли, образование различных типов рудных месторождений.

С теоретическими вопросами геохимии Ферсман тесно увязывает вопросы региональных геохимических исследований и практическое изучение рудных месторождений. Первой регионально-геохимической работой Ферсмана была его широко известная “Геохимия России” (1922). Исключительно востребованной оказалась его работа “Полезные ископаемые Кольского полуострова”, изданная в 1941 г. и удостоенная Сталинской премии 1-й степени. В ней даётся глубокий геохимический анализ минеральных комплексов, объясняется парагенезис элементов и минералов, широко используется геоэнергетический анализ процессов их образования. Объясняются процессы скопления отдельных химических элементов в одних частях Кольского полуострова и отсутствие их в других. Даются прогнозы новых поисков. Практическое значение геохимических построений ярко выявлено в книге “Геохимические и минералогические методы поисков и разведок полезных ископаемых” (1940).

Геохимические работы Ферсмана наметили новые пути развития геохимии, дали новые методы исследования. Они получили известность и широкое признание среди специалистов в мире. Ферсман награждён Лондонским геологическим обществом палладиевой медалью имени Волластона – высшей геологической наградой, которой в своё время были удостоены такие учёные, как Вильям Смит, Леопольд фон Бух, Чарльз Дарвин, Эдуард Зюсс. За геохимические работы Ферсман получил большую золотую медаль от Бельгийского университета.

Вместе с В.И.Вернадским А.Е. Ферсман много времени и сил отдал работе в Комиссии по изучению естественных производительных сил России, оказавшей большую помощь для выявления возможностей развития промышленности. Научные и организаторские

способности А.Е. Ферсмана в полной мере проявились в 1920-30-е годы. В 1919 г. его избрали действительным членом Академии наук и назначили директором Минералогического музея. Выходят в свет его замечательные книги: “Драгоценные и цветные камни России” (1920) и “Самоцветы России” (1921). Он был академиком-секретарем (1924–1927), вице-президентом (1927–1929) и членом Президиума Академии наук СССР (1929–1945), директором Радиевого института (1922–1926), Института аэросъёмки (1927–1934), Института кристаллографии, минералогии и геохимии им. М.В.Ломоносова (1930–1939), Института геологических наук АН СССР (1942–1945), председателем Кольской базы АН СССР (1930–1945), Уральского филиала АН СССР (1932–1938). Во время Второй мировой войны Ферсман возглавлял Комиссию научной помощи Советской Армии при Отделении геолого-географических наук АН СССР (1941–1945).

Ферсман – выдающийся полевой исследователь и путешественник. Он писал: “За 40 лет моей научной деятельности мне пришлось изъездить всю нашу страну и побывать в самых различных ее краях, от берегов полярного океана до лесных просторов печорской пармы и сухих субтропиков персидской границы. Бывали годы, когда мне приходилось делать до 60 тысяч километров; бывали годы, когда большую часть времени приходилось проводить на машине, в далеких путях караванов или в долгих странствованиях пешком по болотам и тундрам Кольского полуострова. Поиски камня для своей собственной коллекции вылились в сбор камня для Государственного музея, а экспедиции – в длинные эпопеи борьбы за овладение камнем, за его использование... Маленькие минералогические проблемы вырастали в громадные промышленные задачи общего государственного и мирового масштаба”.

Ярчайшей оказалась хибинская эпопея – серия экспедиций Ферсмана на Кольский полуостров, приведшая к открытию крупнейших месторождений апатита. Открытия в Хибинах привели к быстрому промышленному освоению новой горнорудной провинции и возникновению за Полярным кругом крупного промышленного района.

Интерес к Хибинам возник у Ферсмана чуть ли не случайно. В 1920 г. после освобождения Севера возникла проблема развития этого края и возможности использования Мурманской железной дороги. Для её обследования в мае 1920 г. Петроградский исполком создал комиссию в составе академиков А.П.Карпинского, А.Е.Ферсмана и геолога А.П.Герасимова. Дорога была в неисправном состоянии, поэтому

поезд с комиссией медленно тащился, делал частые остановки. Одна из таких остановок произошла на станции Имандра. Учёные решили совершить небольшую экскурсию по отрогам Хибинского горного массива. Ферсман обнаружил там выходы нефелиновых сиенитов с незнакомыми минералами. Эта находка поразила его, и он понял, что Хибины – это целый новый своеобразный мир камня.

Возвратившись в Петроград, Ферсман со свойственной ему энергией начал хлопотать перед руководством Северной научно-промысловой экспедиции и Академии наук о снаряжении небольшой экспедиции для изучения природы Хибин и получил на это разрешение. Осенью 1920 г. небольшой отряд под его началом отправился на север. В составе отряда были Э.М.Бонштедт, Н.Н.Гуткова, Е.Е.Костылёва, Е.В.Ерёмина, А.В.Лермантова, С.А.Лихарева, Р.Б.Россиенская, М.Б.Степанова, М.В.Терпугова, В.А.Унковская. Непосредственно на месте к ним присоединились сотрудники почвенно-ботанического отряда профессор Н.И.Прохоров и О.А.Кузёнова.

Во второй экспедиции А.Е.Ферсмана в Хибины в августе 1921 г. присоединились Е.А.Елизаровский, Е.П.Кесслер, В.И.Крыжановский, З.А.Лебедева, Б.М.Куплетский, А.В.Терентьев, Г.С.Тшасковский. Были найдены апатит-нефелиновых руды в делювиальной осыпи левого борта ручья Ворткеуай между южными отрогами Кукисвумчорра.

Впоследствии Ферсман писал: “Почти без продовольствия, без обуви и без какого-либо специального экспедиционного снаряжения начали мы наши работы. На ноги подвязывали мешки, чтобы они не скользили по голым скалам, на сырых камнях. В ведре, которое несли на палке, варилась гречневая каша, сдабриваемая грибами или черникой. По оленьим тропкам, часто совершенно без карты пробирались мы постепенно от линии Мурманской железной дороги в глубь тундры, производя разнообразные наблюдения, исправляя карту и собирая коллекцию минералов. Все грузы продовольствия и камней переносились на спинах самих



А.Е.Ферсман в Хибинах.

участников экспедиции: только на 8 дней хватало обычно продовольствия, надо было создавать промежуточные базы и многократно подносить снабжение. Ночами температура опускалась до 8-10 градусов ниже нуля, днем доводили до иступления рои комаров и мошкеры, от которых не спасали ни густые сетки, ни перчатки. Был конец сентября, у нас не было ни палаток, ни даже брезентов, но, несмотря на пронизывающий ветер и холод, мы шли и шли без дорог и троп. Назад к теплушке мы вернулись совершенно измученные, но горячо увлеченные Хибинами. Первый шаг был сделан”¹⁴.

Нельзя не удивляться тому увлечению, с которым Ферсман и его ученики (а именно они составили в основном хибинские экспедиции) изучали совершенно не исследованные и труднодоступные Хибинские горы. Ферсман стал подлинным патриотом геологического освоения и промышленного развития Кольского полуострова. Он полюбил этот суровый край всей душой и многие годы был искренне привязан к нему.

В 1924 г. он писал: “Хибинские горы или, как их называют лопари, Умптек, представляют высокий горный массив, поднимающийся на высоту до 1250 метров над уровнем океана и лежащий в 80 километрах на север от Белого моря и в 120 – на юг от Мурманского побережья. Голые вершины – каменистые тундры – возвышаются среди холмистой равнины, покрытой болотами, озерами и лесами; с востока и запада их склоны отражаются в водах глубоких озер, вытянутых далеко с севера на юг: на западе Имандра, с вытекающей из нее бурною Нивою, на востоке – Умпъявр или Умбозеро, за ним снова высокий горный массив и еще далее, на границе с болотистыми низами верховий Поноя и Варзуги – Ловозеро с знаменитым Ловозерским погостом – лопарскую столицю. Уже три года наш отряд работает в этих горах, обнимающих в своих двух массивах 1600 кв. километров, из года в год постепенно проникая в неведомые края; раздвигаются перед нами новые панорамы, открываются новые долины, горы, ущелья, и на новых хребтах, в блеске солнечного дня или сквозь прозрачно-синюю воду истоков, отыскиваются месторождения ценнейших минералов”¹⁵.

Ферсман путешествовал по Хибинам с небольшими отрядами. Так, 17 июля 1922 г. из Петрограда поездом по Мурманской железной дороге выехало девять человек. На третьи сутки перед ними, по словам Ферсмана, открылась “чарующая панорама Белого моря с Кандалакшским фиордом, потом бурная, шумящая Нива в крутых берегах; поезд медленно ползет

¹⁴ Ферсман А.Е. Путешествие за камнем. – Л.: Детгиз, 1956. – С. 189.

¹⁵ Ферсман А.Е. Три года за Полярным кругом. – М.: Молодая гвардия, 1924. – С. 7.

вверх на холмистую равнину Кольского полуострова, и среди угрюмой неприветливой картины вддали на севере окутанные туманом снежные очертания Хибинских гор”¹⁶.

На станции Имандра геологи выгрузили около двух тонн экспедиционного имущества. В железнодорожном домике устроили базу экспедиции. Ферсман горел нетерпением, поэтому отряд под его руководством в тот же день вышел в горы.

План экспедиции А.Е.Ферсман продумал в деталях в Петрограде. В 1921 г. участники его отряда проникли в южную область меридиональной долины Кукисвум, делящей Хибины на две половины – западную и восточную. На этот раз геологи решили подойти к долине с запада, хотя путь преграждал длинный хребет. В первый день, несмотря на хмурые тучи на горах, решили начать пятидневный маршрут. Путешественники направились в лесистую долину Иидичиока. В верховьях реки в два часа ночи раскинули палатку. Ферсман разделил партию на два отряда, которые в поисках перевалов, несмотря на зной и тучи комаров, поднялись в горы на высоту 1000 метров. С вершин были видны громады незнакомых гор. Однако не было подходящих проходов, по которым можно перетащить более одной тонны груза туда и обратно. Решили продвигаться к югу и к ночи через голый хребет Индичвумчорра перевалили в глухую долину Часнаиока.

На высоте 420 метров над уровнем озера Ферсман разложил большой костёр и поставил палатку. К этому времени подошли остальные участники отряда. Все были измучены зноем, роями комаров и трудными спусками с обрывистого хребта. Путники разбили лагерь на самом краю большого горного массива Часначорр, который слыл у местных жителей неприступным.

Немного отдохнув, снова разбились на отряды и начали огибать горное плато в поисках проходов. Ферсман хотел осмотреть перевал к Кукисвуму и подняться по одному из северо-восточных гребней на вершину. Он шел почти не останавливаясь в течение семи часов и около полуночи достиг гребня Часначорра. Прекрасная панорама нагромождения гор, сверкающих на солнце озёр и заснеженных вершин стала наградой за утомительный подъём.

Температура к ночи понижалась до 4 градусов, а днём повышалась до 24 градусов в тени. После полуночи солнце всего на полчаса

¹⁶ Там же. – С. 8.

скрывалось за горизонтом. Ферсман и его спутники подошли к северному краю плато. Впереди была отвесная стена высотой 450 метров. Внизу мрачные озёра, по поверхности которых плавали крупные льдины, а снежные языки далеко спускались с гор в долину.

Другие отряды также вышли на верхнюю площадку плато, где гулял холодный ветер. К сожалению, не только северный край, но и более южные участки плато оканчивались обрывом. Пришлось возвращаться к лагерю. Спуск был очень труден: солнце начало припекать, появились комары. Только к 11 часам утра совершенно обессиленные геологи были на базе, где их поджидал оставленный в лагере химик Г.П.Черник, собравший в соседней долине образцы редчайших минералов. Эти находки настолько всех воодушевили, что, несмотря на усталость, все сразу поспешили к найденной им богатейшей жиле.

Задача рекогносцировки была решена, поэтому геологи занялись разработкой жилы. Через три дня девять членов экспедиции и шесть рабочих-носильщиков направились по голой долине Часнайока. Три человека остались работать на жиле день и ночь, поскольку комары все равно не давали спать. Ферсман вспоминал: “Проходят почти сутки; рабочие возвращаются обратно; они измучены пройденной дорогой, скалы перевала и снеговые поля напугали их, детей равнины, русских мужичков; их обувь совершенно оборвалась; на снежных полях и от сильного холодного ветра они промерзли; им не удалось донести груза до назначенного по диспозиции места, и совершенно измученные они стремятся скорее вернуться домой, подальше от всех ужасов гор. Большинство из них действительно больше не соглашалось идти в горы, и лишь немногие пристрастились потом к этой кочевой жизни”¹⁷.

Ферсмана беспокоила судьба грузов, оставленных рабочими на склоне под снежными полями. Работы на жиле прервали и отправили рабочих на станцию Имандра с грузом образцов. Сам он с геологами поспешил на помощь первому отряду.

Утомление после многодневной работы без сна давало себя знать. Погода была хмурая, ненастная, но Ферсман с товарищами начал подниматься по долине Часнайока к большому северному цирку с отвесными стенками. Рекогносцировкой установили, что

¹⁷ Ферсман А.Е. Три года за Полярным кругом. – М.: Молодая гвардия, 1924. – С. 16.

над первым озером на высоте около 200 метров расположен перевал, поэтому пошли в этом направлении. Но горы начал застилать густой туман, в котором потеряли направление движения. Тем не менее геологи с тяжёлым грузом продолжали подниматься по огромным глыбам сиенитов, ориентируясь только по ветру. После многочисленных поворотов и спусков удалось достичь перевала. На востоке туман был менее плотным и сквозь него просматривались контуры долины. Через несколько сот метров путники были уже ниже полосы тумана и им открылась прекрасная долина Кукисвума. После столь утомительного пути купание в ледяной воде горной реки освежило и придало сил. До реки Куниока добрались старыми оленьими тропами, проложенными вокруг обрывистого склона горы. Здесь разбили палатку. Местность радовала глаз: даль широкой долины, амфитеатр гор, покрытых свежесзелеными еловыми лесами, на юге неприступные горные массивы.

Здесь путешественники провели две недели, совершая маршруты в окрестности для изучения геологии массива и сбора богатейших минералогических коллекций. Место лагеря было настолько удачно, что за 10 дней члены экспедиции выполнили все маршруты, а на вершине Кукисвумчорра открыли месторождение цирконов. Ферсман с несколькими спутниками совершил рекогносцировочный маршрут в долину Тульи через ущелье в массиве Рисчорра: “Мы шли почти без отдыха 12 часов, а лесной зоны не было. С большим трудом, совершенно усталые, с тяжёлым грузом прекрасного материала подтянулись мы поздно вечером к слиянию двух ручьёв Каскасньюнайока, и на высоком сухом берегу, среди отдельных елочек, мы разложили костер и стали готовить себе навес из брезентов. Наш трехлетний опыт экспедиции в Центральной Лапландии научил нас в экскурсии в 5-7 дней не брать палатки, а лишь легкие двухфунтовые брезенты, из которых мы легко могли в любых условиях соорудить шатёр”¹⁸.

На следующее утро погода испортилась, южный беломорский ветер принес мелкий дождь. Тем не менее геологи продолжали путь почти наугад, так как вершины гор были закрыты низкими тучами. Дождь усиливался. Однако партия Ферсмана отыскала удобный перевал к Умбозеру, высота которого над Имандрой составляла всего 320 метров.

¹⁸ Ферсман А.Е. Путешествие за камнем. – Л.: Детгиз, 1956. – С. 206.

Путники промокли и промёрзли, но решили во что бы то ни стало достичь намеченного ранее места у озера Кунъявр. Когда это удалось, быстро соорудили шалаш и развели огромный костер.

Через двое суток выглянуло солнце, и путешественники оценили красивейшее место лагеря, которое к тому же оказалось чрезвычайно удобным – более месяца здесь располагался лагерь экспедиции.

Следовало решить еще одну трудную задачу: отыскать удобный путь для переправки грузов из прежнего лагеря. Разведка показала, что грузы можно переправить по озёрам и речкам, перетащив их тяжёлым восьмичасовым переходом через хибинские леса.

Из лагеря на озере Кунъявр Ферсман решил подняться на самое высокое горное плато Хибин – Лявочорр. Это удалось после утомительного 10-часового подъёма. С вершины плато было уточнено расположение хребтов и долин этой части Хибин: имевшиеся неточные карты только вводили в заблуждение. Спуск занял более четырёх часов. Завершив его, обессиленные геологи бросились в палатку и сразу же заснули.

Ухудшение погоды заставило Ферсмана снарядить отряд для поиска перевалов на восток, чтобы разбить лагерь в долине Майвальты и изучить подходы к озеру Умпъявру. Этот маршрут оказался очень трудным: снегом занесло все вершины горных плато и перевалы. Погода была ужасной: холодный северный ветер, дождь и мокрый снег совершенно изматывали на тяжёлых подъёмах и спусках. Сделать удалось мало, но общую рекогносцировку выполнили. Скоро выглянуло солнце, и пришёл транспорт с продовольствием из Имандры. Ферсман выступил на восток, к высотам Ловозерских тундр.

Здесь местность была более унылой: холмистый ландшафт со следами морен отступавших ледников и деятельности вечной мерзлоты. Первый ночлег устроили в оставленной в долине Майвальты палатке. Ферсман поднял спутников в четыре часа утра. Густой туман закрывал все окрестности. Наскоро позавтракав и оставив половину снаряжения в палатке, выступили по пологому гребню Партомпорра. Вскоре вышли к лесной зоне, сильно заболоченной и обводненной. Проводник-лопарь подсказывал, как надо преодолевать трясины. К концу дня достигли лопарского становища, которых тогда было совсем немного в Центральной Лапландии.

Погода не позволяла идти дальше три дня. Когда ветер утих, лопарь П.Галкин перевёз Ферсмана и его спутников на другой берег

Умпъявра в Ловозерские тундры и пообещал приехать за ними через неделю.

Здесь Ферсман отыскивал знаменитые пегматитовые жилы Тавайока, описанные финским геологом В.Рамзаем. Идти в развалах огромных глыб было чрезвычайно тяжело. На два-три километра пути уходили многие часы. Лишь к вечеру выбрались на окраину леса с богатой коллекцией образцов. Барометр падал, и Ферсман решил поискать становище лопарей, идя на юг. Преодолели около 30 километров через болота и реки, прежде чем увидели признаки жилья. Лопари переправили отряд Ферсмана к становищу П.Галкина. Скоро пришли вести от других отрядов, и они соединились, чтобы вернуться в Имандру. Так закончилась экспедиция 1922 г.

Участники третьей экспедиции Ферсмана в августе 1922 г. проникли в долину реки Кунйок и к озеру Пайкунъявр в северной части Хибин. Они прошли десятки километров по горным маршрутам, изучили геологию обширного района, обнаружили несколько новых минералов, сделали ряд географических открытий, дали названия безымянным вершинам, долинам и ручьям.

Подводя итоги трехлетних (1920-1922 гг.) работ, Ферсман отмечал, что общая площадь двух горных массивов Центральной Лапландии, сложенных щелочными породами, составляет около 1600 квадратных километров, из них 1150 приходится на Хибинские и 450 — на Ловозерские тундры. В 1920 г. изучили только 80 квадратных километров территории, в 1921 г. — 220, в 1922 г. — 500. Протяжённость маршрутов в 1920 г. составила 80 километров, в 1921 г. — 270, в 1922 г. — более 1100. Экспедиционные работы продолжались в 1920 г. всего 10 дней, в 1921 г. — 39, в 1922 — 57 дней. В 1920 г. отряд не делился, в последующие сезоны работали от двух до четырёх партий. Было открыто около 90 месторождений редких минералов, из них в 1922 г. — 40. Геологи собрали огромное число прекрасных образцов минералов (около трёх тонн). На всем протяжении маршрутов вели геологическую, минералогическую и геохимическую съёмки.

В мае 1922 г. вышел из печати сборник “Хибинский массив”, в котором приведены первые научные данные о хибинских апатитовых месторождениях, полученные в результате экспедиций Ферсмана и его сотрудников в 1920-1921 гг.

В последующем события развёртывались так.

16 июля 1923 г. на вершине южного Расвумчорра геологами отряда Б.М.Куплетского (Б.М.Куплетский, А.Н.Лабунцов, Э.М.Бонштедт,

Е.Е.Костылёва) найдены элювиальные обломки породы, содержащей апатит. Летом 1925 г. элювиальная россыпь пород, содержащих апатит, оконтурена на площади 10 тыс. кв. метров.

В августе 1926 г. поисковая партия А.Н.Лабунцова обнаружила коренные выходы апатит-нефелиновых руд на Ийолитовом отроге Расвумчорра, которые они ошибочно приняли за основное месторождение. Поисковыми работами последующих лет было установлено, что эти рудные обнажения являются остатками частично эродированной апатитовой залежи месторождения Плато Расвумчорр. Тогда же А.Н.Лабунцовым и А.А.Сауковым открыто месторождение Апатитовый Цирк на Апатитовом отроге Расвумчорра. 2 сентября 1926 г. по заданию А.Е.Ферсмана для проверки данных А.Н.Лабунцова об открытии на Расвумчоре крупного месторождения апатита в Хибинах прибыла комиссия в составе Р.Л.Самойловича, Д.И.Щербакова, П.А.Борисова. На вершине Расвумчорра поставлены первые заповочные столбы с надписью: “М.Ж.-Д. С. И. 1926 – 7/1X/ А. Н. Л.” (Мурманская железная дорога. Институт по изучению Севера. 1926 – 7/1X. Александр Николаевич Лабунцов). Эта дата считается точным временем открытия месторождения Плато Расвумчорр и Апатитовый Цирк.

В апреле 1928 г. экспедиция под руководством геолога В.И.Влодавца начала поисковые и подготовительные работы для промышленной добычи апатита на Кукисвумчоррском месторождении. Поисковоразведочные работы, тщательно и продуманно проведённые В.И.Влодавцем и его сотрудниками, подтвердили наличие в Хибинах промышленных запасов апатит-нефелиновых руд. По совокупности поисковых работ сезона 1928 и 1929 гг. отдельные апатитовые месторождения объединены в крупную рудную залежь длиной более десяти километров от Кукисвумчорра до ущелья “Дразнящего эха” – между Центральным и Восточным Расвумчорром.

В ноябре 1928 г. в Государственном институте прикладной химии в Ленинграде из хибинского апатита получены первые образцы первоклассного суперфосфата. С 1928 г. начался этап активной промышленной разведки разработки апатит-нефелиновых месторождений Хибин. Такие темпы поражают воображение даже при знании мировых рекордов промышленного освоения месторождений.

Хибины и Ловозерские тундры считаются крупнейшим в мире (2000 км²) массивом нефелиновых сиенитов (хибиниты, луявриты,

уртиты и др.). Хибинская часть массива является конической интрузией хибинитов, уртитов и других пород, распространяющихся на глубину 7 км.

В настоящее время функционируют следующие рудники: Кировский (месторождения Кукисвумчорр и Юкспор), Расвумчоррский (месторождения Апатитовый Цирк и плато Расвумчорр), Центральный (плато Расвумчорр) и Восточный (месторождения Коашва и Ньоркпахк). В 1963 г. мощность первой апатит-нефелиновой обогатительной фабрики удвоилась. В том же году была пущена первая очередь новой фабрики; в 1984 г. построена последняя третья горно-обогатительная фабрика – обе за пределами горного массива, на Прихибинской равнине

Максимальный объём производства был достигнут в 1989 г.: добыто 60 млн т руды, получено около 20 млн т апатитового концентрата. Объём производства апатитового концентрата после промышленного спада 1990-х годов постепенно наращивается: в 1998 г. он составил 8 млн т, в 1999 г. – 9 млн т, а нефелинового концентрата – 858 тыс. т. Добыча апатит-нефелиновой руды составляет около 24 млн т. Около 40% апатитового концентрата экспортируется.

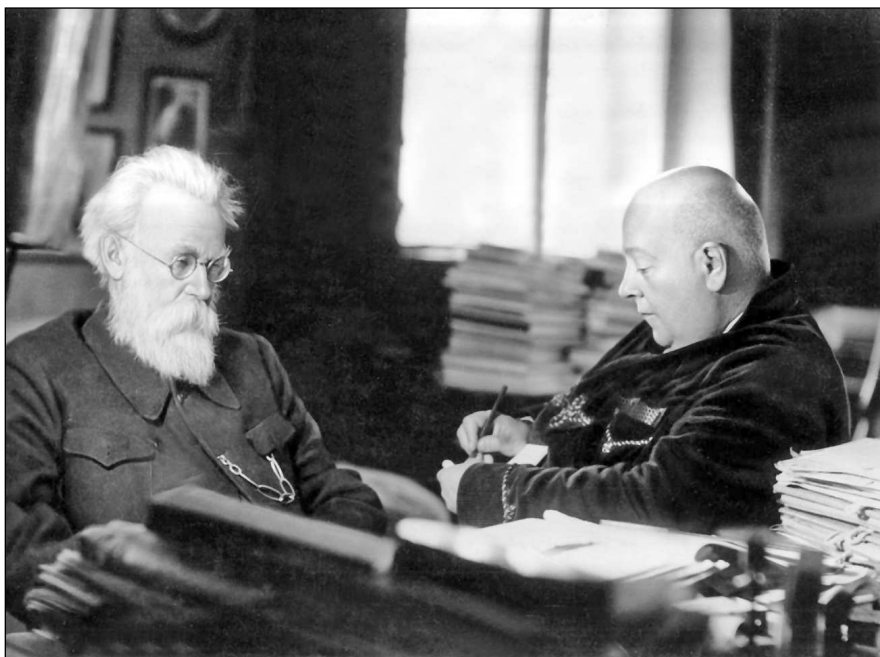
Доля хибинских месторождений в структуре мировых запасов апатитовых руд составляет около 30%. Возможности прироста запасов апатит-нефелиновых руд в эксплуатируемых месторождениях путем их дальнейшей разведки в настоящее время исчерпаны. Наращивание производства апатитового концентрата возможно лишь за счёт доразведки новых месторождений, находящихся в резерве, и разработки глубоких горизонтов эксплуатируемых месторождений.

О комплексном использовании апатит-нефелиновых руд говорил ещё Ферсман. Однако эта проблема решена лишь частично. Многие составляющие процесса (например, титаномагнетитовый концентрат) уходят в хвостохранилище. Добыча и обогащение апатит-нефелиновой руды приводит к техногенным изменениям окружающей среды. Разработка руды открытым способом на большинстве месторождений нарушает естественный ландшафт. При этом возникают крупные антропогенные осыпи и обширные карьеры. Картина Кировского рудника поражает воображение. Огромная гора почти наполовину разрушена. Гигантские уступы рудников Расвумчорра и Восточно-

го хорошо заметны издалека. На плато Расвумчорр (Центральный рудник) – яма глубиной в сотни метров, края которой уже прорезали склоны плато. В карьерах во время работы горной техники и автотранспорта скапливаются вредные выхлопные газы.

Таковы проблемы современных Хибин.

После маршрутов в Хибирах А.Е.Ферсман совершил множество экспедиций и побывал во многих уголках необъятной страны, но хибинская эпопея оставалась наиболее яркой. Она была самым замечательным впечатлением жизни для всех участников хибинской экспедиции, а прекрасный облик талантливого учёного остался в их душах навсегда. Вот как вспоминала о А.Е.Ферсмане в хибинских тундрах участник экспедиции известный минералог Э.М.Бонштедт-Куплетская: “Внешний облик его в этих первых хибинских экспедициях был весьма колоритен: старая, видавшая виды, бывшая генеральская отцовская кожаная куртка на красной подкладке, обычно нараспашку, фотоаппарат, барометр-анероид, на поясе подвешен жестяной помятый чайник, в



В.И.Вернадский и А.Е.Ферсман. 1941 г.

одной руке геологический молоток, в другой – самодельная большая палка, а на шее бинокль и на шнурках свисток и лупа, с которыми он не разлучался и в городе”¹⁹.

В 1926 г. Ферсман выдвинул проблему отыскание новых технологических способов для переработки апатитовых руд на минеральные удобрения. Он был инициатором создания Хибинской горной станции АН СССР (1930).

В начале 1930-х годов Ферсман – активный участник экспедиций в Монче-тундру, которые привели к открытию ещё одного месторождения мирового масштаба – Мончегорского медно-никелевого.

Александра Евгеньевича Ферсмана привела в науку страсть и увлеченность минералами, которую он смог сохранить с раннего детства и до конца жизни. Также на всю жизнь он сохранил свою привязанность к учителю Владимиру Ивановичу Вернадскому, который стал его соратником и другом (ушли из жизни они в один год). Оба эти факта не могут не вызывать отклика в душах тех, кто посвятил или предполагает посвятить себя науке.

Именем А.Е. Ферсмана названы минералы: ферсмит – титано-ниобиевый окисел и ферсманит – титано-ниобиевый силикат, посёлок в Крыму, ущелье в Хибинах и Минералогический музей РАН.

Институт прикладной минералогии и его опыт в современной ситуации

Нынешнее тотальное за-
силье на отечественном рын-
ке товаров и услуг зарубеж-
ного происхождения после
двух десятилетий эйфории
от товарного изобилия, сме-
нившего извечный советс-

кий дефицит, начинает тревожить даже обывателя. Ведь очевидно, что рано или поздно, после распродажи общественной собственности и природных богатств, постсоветские государства окажутся в такой долговой яме, из которой нельзя будет выбраться. Вопреки перманентным политическим спекуляциям относительно создания собственных национальных инновационных систем, реальных сдвигов на этом пути фактически нет, и, кроме России с её нефтедолларами, которые, правда, тоже мало работают для инновационной модернизации эко-

¹⁹ Ферсман А.Е. Жизнь и деятельность. – М.: Наука, 1965. – С. 264.

номики, остальные постсоветские страны не имеют сколько-нибудь заметных ресурсов для этих целей (кроме распродажи земли).

Среди множества проектов и предположений реанимации национальных экономик есть смысл рассказать об историческом опыте одного исследовательского института, который всего за десять лет решил масштабнейшую задачу освобождения отечественной промышленности от зарубежной зависимости, связанной с импортом минерального сырья. Опыт института уникален и достоин подражания в нынешних условиях затяжного кризиса научных систем и недостатка средств для элементарного обеспечения исследований. Уникален и сам этот Институт прикладной минералогии, как по своему происхождению, так и по переориентации исследований в условиях индустриализации страны.

Институт прикладной минералогии основан в 1923 г. на базе частного исследовательского института “Lithogaea”, построенного московским купцом В.Ф.Аршиновым для своего сына, ученика В.И.Вернадского, впоследствии известного минералога и петрографа В.В.Аршинова.

Владимир Васильевич Аршинов (1879–1955) – петрограф, минералог и изобретатель, член Московского общества испытателей природы (1904), доктор геолого-минералогических наук (1936), профессор (1945), организатор и директор института “Lithogaea” (1915–1923), научный руководитель петрографической лаборатории Института прикладной минералогии, а затем ВИМСа, организатор лаборатории технического камня и кристаллооптического кабинета в Институте прикладной минералогии, заслуженный деятель науки РСФСР (1951).



В.В.Аршинов.

В.В.Аршинов родился в семье крупного московского торговца и фабриканта-суконщика, купца 1-й гильдии Василия Федоровича Аршинова (1854–1942), поставщика императорского двора, выходца

из бедной крестьянской семьи из российской глубинки, сделавшего самого себя и обеспечившего получение блестящего образования своим сыновьям.

Старшего сына Владимира он определил в классическую гимназию и пригласил для него домашнего учителя – студента Московского университета Константина Иосифовича Висконта, впоследствии – профессора, крупного минералога и химика. Этот человек фактически определил судьбу В.В.Аршинова и стал ему ближайшим другом на всю жизнь. Отец всячески поощрял научные увлечения сына, не жалея средств ни на геологические экскурсии, в том числе и зарубежные, ни на создание благоприятных условий для исследовательской работы. Уже в студенческие годы он располагал небольшой, хорошо оснащенной собственной лабораторией. В 1899 г. В.В.Аршинов стал студентом естественного отделения физико-математического факультета Московского университета и оказался среди молодых талантливых учеников В.И.Вернадского, впоследствии выросших в крупных ученых.

В 1903 г. В.В.Аршинов успешно окончил университет, появилась его первая научная публикация. В.И.Вернадский, заметив его способности, предложил ему остаться на кафедре для подготовки к профессорскому званию. Для совершенствования образования В.В.Аршинов и его бывший домашний учитель и тоже ученик В.И.Вернадского К.И.Висконт в 1904 г. отправились в Германию, в Гейдельбергский университет, для овладения методами микроскопического исследования минералов и горных пород. В лаборатории знаменитого Г.Розенбуша они проработали два года, овладев в совершенстве методиками микроскопической петрографии и кристаллооптики. После возвращения в Россию В.В.Аршинов в Московском университете стал пионером внедрения кристаллооптических методов и около шести лет преподавал их студентам.

К моменту возвращения В.В.Аршинова в Москву его отец уже закончил строительство здания специального института для сына (позднее для второго сына Сергея, талантливого музыканта, он построил в Саратове здание консерватории). Двухэтажное здание “Lithogaea” на Ордынке возводилось под руководством знаменитого архитектора-модерниста Ф.О.Шехтеля и стало украшением Замоскворечья. Впоследствии рядом с ним появилось много новых институтов, в том числе работавших в области наук о Земле.

В 1906–1910 гг. В.В.Аршинов, поощряемый отцом, занимался оснащением института современным оборудованием, лично подбирал кадры для него. Среди первых сотрудников института “Lithogaea” молодые исследователи, впоследствии много сделавшие в геологических науках: геологи С.В.Обручев и В.А.Варсанофьева, петрографы А.А.Мамуровский, Е.А.Кузнецов и Б.З.Коленко, минералоги А.С.Уклонский, Н.А.Смольянинов и К.И.Висконт, кристаллограф Е.Е.Флинт.

Институт “Lithogaea” – первый в России частный исследовательский институт. Официальной датой его основания считается 1910 г., когда начали выходить в свет его издания. В.В.Аршинов принял на себя научное руководство институтом в 1915 г. В том же году учредители института В.В. и В.Ф.Аршиновы передали его в ведение Московского общества испытателей природы. Институт издавал журнал “Рудный вестник”, а также труды своих сотрудников отдельными выпусками. В числе первых были публикации В.В.Аршинова: “К геологии Крыма” (1910) и “О двух полевых шпатах с Урала” (1911). Основное направление исследований института в первые годы работы – изучение минералов и горных пород для выявления минерально-сырьевых богатств страны и вовлечения их в сферу хозяйственного использования. Проводились петрографические исследования Урала, Крыма и Кавказа, поиски и разведки месторождений вольфрама, меди, серы и корунда. Под научным руководством В.А.Аршинова институт работал в 1915–1923 гг.

Чтобы сохранить институт в годы революции, гражданской войны и послевоенной разрухи, В.В.Аршинов в 1918 г. обратился к советскому правительству с предложением о национализации института. Это предложение было принято. За ним был сохранён и участок земли на Большой Ордынке.

В годы гражданской войны институт “Lithogaea” занимался изучением месторождений естественных строительных материалов Подмосковья и центра России. В.В.Аршинов изучал кровельные сланцы и их месторождения. С 1920 г. институт начал издавать новый журнал “Минеральное сырьё”, значение которого, особенно в 1930-е годы, было чрезвычайно велико. В ряде статей, помещенных в журнале “Минеральное сырьё” в 1920–1927 гг., В.В.Аршинов обращал внимание на необходимость создания в Советском Союзе промышленной добычи кровельного сланца (как заменителя кровельного

железа) и указал на возможность получения пористых камней из отходов сланца. В 1927 г. он обследовал уральские месторождения талькового камня, в результате чего были выявлены огромные запасы талько-магнезитового камня Шабровского месторождения. Он указал на возможность получения форстеритовых огнеупорных камней из талькового камня с добавкой магнезита, а также и на то, что тальково-магнезитовый камень может быть источником для получения двух промышленно ценных минералов – талька и магнезита, предложив применять для их разделения методы механического обогащения. Опыты по разделению талька и магнезита были с успехом осуществлены в обогатительной лаборатории ИПМ, а позднее и промышленными предприятиями не только в СССР, но и за рубежом.

В.В.Аршинов теоретически обосновал возможность получения форстеритсодержащих огнеупоров не только из тальк-магнезитовых пород, но и из серпентинитов, обогащённых бруцитом и оливинитом, отходов асбестовых фабрик и отходов при добыче хромитов и платины (с добавкой магнезита). В тех же работах он выдвинул проблему использования бедных железом руд магнетитовых оливинитов для комплексного получения из них (прямым восстановлением) форстеритовых огнеупоров и губчатого железа.

Владимир Васильевич глубоко интересовался методами количественного определения того или иного полезного минерала в шлифе. Он организовал в возглавляемой им петрографической лаборатории кабинет методов количественного геометрико-химического анализа горных пород и руд, в котором был создан новый точечный метод такого анализа и сконструирован для него ряд приборов. Из них наиболее широкое распространение приобрел пуш-интегратор.

В.В.Аршинов со студенческих лет занимался вопросами кристаллооптических методов исследования. Петрографическая лаборатория Института прикладной минералогии, руководимая им, была оснащена различными моделями петрографических микроскопов и самыми разнообразными к ним приспособлениями. В 1930 г. с помощью С.И.Вавилова ему удалось привлечь для работы по усовершенствованию методов оптического исследования группу физиков-кристаллооптиков и организовать кристаллооптический кабинет, в котором работали профессор Н.Е. Веденеева, А.Н. Волков, С.В. Грум-Гржимайло, Н.М. Меланхолин и А.Г. Колотушкин.

Владея различными методами кристаллооптического исследования, хорошо разбираясь в вопросах поляризационной микроскопии и

в насущных задачах кристаллооптического исследования минерального сырья, В.В.Аршинов сосредоточил работы в области кристаллооптики на наиболее актуальных в те годы проблемах. Кристаллооптическая группа ИПМ многое сделала для усовершенствования иммерсионных методов исследования минералов. Метод Эммонса двойной вариации был значительно упрощен. К поляризационному микроскопу был сконструирован нагревательный столик с микро-рефрактометром, делающий метод двойной вариации доступным для любой петрографической лаборатории.

Был усовершенствован также теодолитно-иммерсионный метод, позволявший работать с одним прочно фиксированным зерном или измерять три главных показателя преломления на одном кристалле с помощью специального “кристаллорефрактометра” с иглой, а также сконструирован специальный “микрорефрактометр”, позволяющий быстро получать показатели преломления высокопреломляющего сплава. Были созданы также приспособления к поляризационному микроскопу, позволявшие определять спектры поглощения минералов и дихроизм.

Сам В.В.Аршинов занимался главным образом конструированием новых приборов, стремясь широко внедрить в повседневную практику петрографа теодолитный метод микроскопирования путём упрощения приемов исследования и удешевления приборов. Он сконструировал несколько вариантов столиков-гемисфер.

Много сил он положил на конструктивные изменения в поляризационном микроскопе, позволившие широко использовать такой микроскоп экспедиционно в минералогической и петрографической практике. Им сконструировано несколько экспедиционных приборов: поляризационная лупа с поляроидами, карманный поляризационный микроскоп и телелупа – прибор, которым можно пользоваться в горных выработках для изучения минералов и пород в забое.

Одним из первых В.В.Аршинов обратил внимание на поляризующие свет плёнки, с которыми он связывал широкие перспективы применения не только в микроскопии, но и в самых разнообразных областях науки и техники: на транспорте, в сельском хозяйстве, в химии, биологии, в стереокинематографии, в декоративном искусстве.

В.В.Аршинов опубликовал свыше 75 работ, из них 25 посвящено применению технической поляризационной аппаратуры. За период с 1934 по 1951 гг. он сделал более 50 предложений по изобретательству; из них 35 зарегистрировано в качестве изобретений.

Одновременно с исследовательской деятельностью, в 1919-1933 гг. В.В. Аршинов преподавал в Московской горной академии и Московском геологоразведочном институте.

В 1923 г. институт “Lithogaea” был преобразован в Институт прикладной минералогии, который возглавил профессиональный революционер, член РСДРП (б) с 1904 г. *Николай Михайлович Федоровский*.

Николай Михайлович родился 18(30) ноября 1886 г. в Курске в семье разночинцев. В 1898-1905 гг. он учился в гимназии в Курске. Рано проявились его незаурядные способности и оппозиционный настрой к власти. В 18 лет он был принят в большевистскую партию. В 1905 г. его исключили из восьмого класса гимназии за активную политическую агитацию против режима, и к началу 1905 г. он переехал в Москву и начался новый период его жизни – жизни профессионального революционера-подпольщика: вёл пропагандистскую и организаторскую в воинских частях Московского гарнизона, принимал участие в вооружённом восстании в Москве в декабре 1905 г., был послан партией в Гельсингфорс и Свеаборг для подготовки восстания матросов флота и солдат крепости, в 1908 г. был членом Московского комитета РСДРП (б).

В 1908 г., сдав экстерном экзамены за гимназический курс, Н.М.Федоровский поступил в Московский университет на физико-математический факультет, продолжая участвовать в политической борьбе. В 1911 г. Н.М.Федоровский исключён из университета за политическую деятельность.

Оказавшись в тяжёлом материальном положении, он был вынужден принять предложение одной из торговых фирм, выпускавших учебные пособия, заняться сбором минералогических коллекций с выездами в экспедиции на Урал. Собирая минералы на Урале, Н.М.Федоровский увлёкся минералогией. Этому способствовала и его неожиданная встреча с В.И.Вернадским,



Н.М.Федоровский.

который, общаясь с ним, оценил его творческие качества и возможности. С помощью В.И.Вернадского Н.М.Федоровский восстановился в университете, блестяще окончил его в 1914 г., был рекомендован для подготовки к профессорскому званию на кафедре минералогии, была опубликована первая его научная работа – брошюра “Граниты в природе и технике”.

В планы вмешалась мировая война. Н.М.Федоровский принял приглашение работать в эвакуированном из Варшавы в Нижний Новгород Варшавском политехническом институте старшим лаборантом кафедры минералогии и рудных месторождений горного отделения. В институте Н.М.Федоровский создал минералогический кабинет. В Нижнем Новгороде он установил связь с местной социал-демократической организацией, в июле 1917 г. был избран председателем губкома РСДРП(б), участвовал в установлении в городе и губернии советской власти, был делегатом VII экстренного съезда РКП (б).

Как председатель нижегородского губкома партии Н.М.Федоровский выступал одним из инициаторов создания в Нижнем Новгороде первого советского университета. 28 марта 1918 г. исполком Нижегородского Совета постановил “учредить университет в Нижнем Новгороде”. Университет был создан на основе бывшего Варшавского политехнического института, Нижегородского городского народного университета и Высших сельскохозяйственных курсов.

В апреле 1918 г. Н.М.Федоровского отозвали в Москву для работы в Высшем совете народного хозяйства, который был создан в декабре 1917 г. для осуществления социалистического переустройства экономики страны. Он проработал здесь девять лет. Н.М.Федоровский возглавил Горный совет ВСНХ и провёл на этом посту огромную работу по централизации управления горной промышленностью России, восстановлению наиболее важных горнопромышленных предприятий и разработке горного законодательства.

В значительной мере по инициативе Н.М.Федоровского 4 сентября 1918 г. был подписан В.И.Лениным декрет об учреждении Московской горной академии, в которой Николай Михайлович затем преподавал много лет.

Успехи Института прикладной минералогии были в значительной мере обусловлены стратегическим мышлением Н.М.Федоровского, пониманием им задач исследований и способов достижения целей. Из многообразных задач, которые он ставил перед коллективом

института, из стратегии организации исследований и использования их результатов на практике вырастали и личные исследовательские достижения.

Оригинальными были идеи Н.М.Федоровского не только в области прикладной минералогии, масштабно расширившие фронт исследований в этой области, но и новое понимание задач генетической минералогии, классификация минерального сырья по энергетическим признакам, являющаяся по существу научным открытием и не потерявшая своего значения до сих пор.

В 1933 г. Н.М.Федоровский был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1935 г. ему была присвоена учёная степень доктора геолого-минералогических наук.

Огромную научно-организационную работу Н.М.Федоровский сочетал с педагогической деятельностью. Она началась преподаванием минералогии в Нижнем Новгороде и продолжилась в Московской горной академии и Московском геологоразведочном институте. Н.М.Федоровский развивал новый, физико-химический аспект расшифровки процессов образования минералов в земной коре и выявления условий их концентрации в форме месторождений полезных ископаемых.

Н.М.Федоровский часто бывал в научных экспедициях на Урале, Кавказе, Закавказье, Алтае, в Карелии, на Кольском полуострове, в Средней Азии. В 1929 г. он представлял Советский Союз на XV Международном геологическом конгрессе в Южной Африке. Он пришёл к выводу о возможности обнаружения алмазов в многочисленных вулканических областях Сибири и Северного Урала. Это высказывание было первым в отечественной литературе указанием на потенциальную алмазонасность некоторых регионов страны.

Под впечатлением поездки в Южную Африку Федоровский написал книгу “В краю алмазов и золота”. В ней он рассказал о шахтах и обогатительных фабриках алмазных предприятий Кимберли, о золотодобывающих рудниках Витватерсранда. Федоровский – автор многих научно-популярных книг, на которых воспитывались поколения геологоразведчиков.

Умение писать, излагать мысли и образы, проявилось и в поэтическом даре Н.М.Федоровского. Приведем отрывок из его стихотворения, навеянного воспоминаниями о встрече с В.И.Вернадским на Урале.

Но горы мощностью меня пленяли.
Любил бродить туристом среди скал.
И вот однажды летом на Урале
Геолога седого повстречал.
Он пригласил с ним разделить палатку,
Поэкскурсировать совместно по горам.
И мы, как это говорится кратко,
Ударили друг друга по рукам.
Сначала меня только забавляла
Его влюблённость в каждый минерал.
Но любопытство всё же заиграло...
Я стал прислушиваться, даже возражал.
“Цветок – любого камня интересней!
В нём аромат и жизни красота.
Названья камней многим не известны,
Цветов же всем известны имена”.
“Цветок прекрасен, – отвечал геолог, -
Но ведь культура связана не с ним,
Кремень зажёт огонь, его осколок
Тогда был камнем самым дорогим.
Век каменный был первый век культуры.
За ним шёл бронзовый, железный. В них руда,
Меня существо своей натуры,
Металлы человечеству дала...
Сказать, что в камнях нету интереса,
А камень человека приподнял
И стал основой техники, прогресса,
Давая цемент, уголь и металл”.
Так, разбомбив меня двухтонной бомбой,
Геолог возмущённо замолчал.
И зашагал тропинкою неровной,
Держа в руках какой-то минерал.

В этом стихотворении можно увидеть и исток жизненной программы самого Н.М.Федоровского.

25 октября 1937 г. Н.М.Федоровский, будучи директором Всесоюзного института минерального сырья, по клеветническому обвинению в шпионаже в пользу фашистской Германии был арестован, 26

апреля 1939 г. осуждён по 58-й статье Уголовного кодекса на 15 лет. Уже до этого 29 апреля 1938 г. он был исключён Общим собранием Академии наук СССР из своего состава. После осуждения этапирован в Воркутлаг. Начались скитания по этапам и островам архипелага ГУЛАГ. До 1942 г. он отбывал срок в Воркутинском лагере, работая на угольных шахтах. Затем был этапирован в Москву, где в 1943-1946 годах работал в “шарашке” IV спецотделе НКВД, занимался поисками способов синтеза алмазов для абразивной промышленности и был близок к созданию промышленной технологии такого производства. Но внезапно в 1945 г. его переводят в Норильский лагерь на тяжёлые работы. Одно время он работал в химической лаборатории Норильского металлургического комбината и преподавал в Горном техникуме. Мучения и мученические странствия Н.М.Федоровского завершились только после смерти Сталина. С реабилитацией 24 апреля 1954 г. его настиг инсульт. В тяжёлом состоянии он был перевезён дочерью Еленой Николаевной в Москву, но так и не оправился после болезни и 27 августа 1956 г. скончался.

Н.М.Федоровский был создателем и главным редактором журнала “Минеральное сырьё”, оказавшего большое влияние на становление геологической отрасли науки и промышленности. Большую работу он проводил при издании Большой советской энциклопедии и Технической энциклопедии. В Институте прикладной минералогии получили путёвку в большую науку многие видные учёные разных специальностей. Его именем названы набережная реки Оки в Нижнем Новгороде, минерал федоровскит, Всероссийский институт минерального сырья, на здании которого установлена мемориальная доска с горельефом Н.М.Федоровского.

Организованный Н.М.Федоровским Институт прикладной минералогии за несколько лет превратился во флагмана индустриализации в СССР. Институт был организован “... в целях развития собственной рудоминеральной промышленности и прекращения импорта рудоминерального сырья. Стоимость импорта неметаллических ископаемых в 1913 г. достигала 40 млн. золотых рублей. При этом импортировались не только ценные продукты, как химическое сырьё, графит, слюда и др., но и простейшие строительные материалы, глины и даже булыжный камень. Советскому Союзу пришлось строить заново эту новую, сложную и малоисследованную отрасль горного дела в условиях полной невыеявленности сырьевых баз, при полном отсутствии данных об их мощности и качестве сырья и при полной

неизученности технологических процессов производства. Большинство советских предприятий неметаллической горной промышленности обязано своим возникновением или развитием Институту прикладной минералогии. Методологической основой научных работ института является так называемый “комплексный метод”, т.е. изучение каждого месторождения как комплекса полезных ископаемых, каждое из которых при соответствующем исследовательском подходе можно использовать в той или иной отрасли народного хозяйства”²⁰.

Основой деятельности института стал разработанный Н.М.Федоровским комплексный метод решения минерально-сырьевых проблем, предусматривающий наряду с собственно геологическими исследованиями создание промышленных технологий переработки минерального сырья и проведение геолого-экономической оценки сырьевых объектов для их промышленного освоения. Главной задачей института стало освобождение отечественной промышленности от импорта минерального сырья, создание собственной, конкурентноспособной минерально-сырьевой базы страны. Институт прикладной минералогии – подлинное детище индустриализации, эффективно работавшее на пользу восстанавливаемых и вновь создаваемых отраслей промышленности. Разработка научно-прикладных проблем велась в нём, начиная от изучения месторождения, по линии детального изучения свойств всех основных полезных ископаемых в нём, методов их обогащения, технологической переработки и заканчивалась исследованием полупродукта, а иногда и готового продукта. Другая линия работы шла от экономического обоснования к составлению планового задания, проектированию предприятия, его монтажа, пуска и к сдаче в эксплуатацию. В конце 1920-х – начале 30-х гг. главной ориентацией в работе института были поисково-разведочные работы по выявлению сырьевых баз и промышленной оценке месторождений. Позднее, когда в результате проведения этой работы выявилась обеспеченность страны минеральным сырьём на достаточно длительную перспективу акцент в исследованиях передвинулся на технологическое изучение сырья.

В результате многолетних исследований института в области теории рудообразования установлен ряд фундаментальных законо-

²⁰ Федоровский Н.М. Научно-исследовательский институт геологии и минералогии // Научно-исследовательские институты тяжелой промышленности. – М.; Л.: ОНТИ, 1935. – С. 613.

мерностей формирования и размещения редкометалльных месторождений, разработаны научные основы учения о геологии редких металлов. Были созданы геолого-генетические модели ведущих типов месторождений ниобия, тантала, бериллия, циркония, разработаны теоретические основы грейзенового, пегматитового и карбонатитового рудообразующих процессов применительно к формированию промышленных концентраций редких металлов.

Большое значение имели методические работы института, в особенности по кристаллооптике, которые возглавлял В.В.Аршинов. В институте была изобретена полусфера, значительно упростившая работу с поляризационным микроскопом. В целях усовершенствования дешевых и точных методов количественного анализа минерального сырья под микроскопом (вместо химического анализа) был создан новый метод “точечного” минералогического анализа и изобретен прибор для его применения – “пуш-интегратор”, позволивший ускорить анализ в 3-4 раза. В 1934 г. уже организовано серийное производство этих приборов. Они были запатентованы за рубежом и организован их экспорт. Для определения кроющей способности красок (способности располагаться равномерным слоем на поверхности и делать невидимым цвет закрашиваемого предмета) институтом был сконструирован прибор “декрафтометр”, позволяющий механически определять свойства красочной пленки. Прибор получил широкое применение в научно-исследовательских и заводских лабораториях, а также признание за границей со стороны крупнейших красочных фирм. Авиапромышленность ввела прибор в качестве стандартного для определения качества красок.

Структура института постоянно менялась. К середине 30-х гг. в нём работали: сектор геологии и гидрогеологии с секциями геолого-тектонической, стратиграфо-палеонтологической, четвертичных отложений, угольной, гидрогеологии и инженерной геологии, геохимической, группой по изучению Якутской АССР; сектор минералогии и рудных месторождений с лабораториями петрографической, экспериментальной минералогии и петрографии, минералогической, рентгенотехнической, кристаллохимической, фото- и микрофотографической и группами неметаллов, редких и рассеянных элементов, цветных металлов и золота; сектор горнобуровой с секциями горной, буровой техники и горной механики; лаборатория камне обработки; технологический сектор с лабораториями обогащения, химико-техно-

логической, термической, физико-химической, физико-механических испытаний, электротехнических испытаний; проектно-конструкторское бюро; химико-аналитический сектор с группами производственных, арбитражных анализов, редких элементов, методических работ; сектор минеральных ресурсов и экономических исследований с группами геологоразведочного фонда, учёта и промышленных исследований минерального сырья, технико-экономической; секция минералов по изготовлению коллекций. При институте работал завод “Геомашина”, изготавливавший опытные конструкции и производственную аппаратуру по бурению для разведочных партий института; тальковая испытательная станция полужавовского типа, на котором испытывались образцы талька разных месторождений на обогащение и размол и приготавливались крупные пробы для отраслей промышленности; экспериментальная установка коллоидно-графитовых препаратов и внедрению их в производство; экспериментальная буровая вышка и т.д.

Институт был укомплектован исключительно высококвалифицированным составом. В 1935 г., когда он был объединён с Институтом геологии и минералогии Союзгеоразведки в единый Научно-исследовательский институт геологии и минералогии, в нём работали академики А.Д.Архангельский (геология Русской платформы и геохимия главных породообразующих осадочных пород), Э.В.Брицке (технология минерального сырья), профессора В.В.Аршинов (минералогия и петрография), К.С.Висконт (минералого-петрографические и физико-химические исследования минералов), М.П.Воларович (вопросы вязкости и пластичности), А.А.Гапеев (геология каменноугольных месторождений), И.Ф.Григорьев (геология месторождений), В.В.Дерягин (физико-механические свойства поверхностей), В.А.Зильберминц (минералогия), Д.И.Иловайский (палеонтология мезозойских отложений), Г.Н.Каменский (гидрогеология), А.Ф.Капустинский (кристаллохимия и физическая химия), Е.А.Кузнецов (петрография), В.И.Луцицкий (петрография, месторождения полезных ископаемых), А.К.Матвеев (геология каменноугольных месторождений), Г.Ф.Мирчинк (геология четвертичных отложений), П.П.Пилипенко (геология), М.М.Пригоровский (геология каменноугольных месторождений), И.П.Попов (инженерная геология), К.А.Путилов (термодинамика, электродинамика, молекулярная физика), П.А.Ревбиндер (физико-химия поверхностей), Ф.П.Саваренский (гидрогеология и

инженерная геология), В.К.Семенченко (физико-химия расплавов), Е.Е.Флинт (кристаллография), Н.И.Червяков (аналитическая химия), Н.С.Шатский (тектоника), М.С.Швецов (геология каменноугольных месторождений Подмоскoвнoгo бассейна).

При безусловном лидерстве Н.М.Федоровского учёные Института прикладной минералогии не выступали лишь статистами. Это были незаурядные инициативные личности, видевшие и понимавшие перспективы обеспечения страны минеральным сырьём, благодаря чему и состоялся успех института.

Возглавив Институт прикладной минералогии, Н.М.Федоровский сразу поставил задачу определения его стратегии. Из множества проблем, стоявших перед страной после разрухи двух войн – мировой и гражданской, следовало выбрать такие, которые были особенно актуальны и решение которых могло привести к кардинальным сдвигам в экономике страны.

По предложению Николая Михайловича, институт начал свою деятельность с изучения импорта минерального сырья и изделий из него. Сотрудники института и он сам пошли в учреждения, которые занимались внешней торговлей, посылали запросы в торгпредства СССР за рубежом относительно закупок для страны минерального сырья, изучали статистику закупок и обнаружили колоссальные затраты валютных средств, которые шли на это, несмотря на небывалые отечественные природные ресурсы. Вроде было очевидно, что СССР обладает обширными залежами различных минералов, которые могли бы экспортировать, а происходило всё наоборот – для масштабных планов индустриализации за рубежом на миллионы золотых рублей закупался самый широкий ассортимент минерального сырья, вплоть до тривиальных строительных камней.

Составленный список импортируемого рудоминерального сырья и изделий из него был обсуждён на одном из первых совещаний института. В центре внимания института оказались проблемы рудоминерального сырья – графита, слюды, барита, хромита, серы, импорт которых требовал крупных валютных затрат, а также проблемы, связанные с группой цветных и редких элементов – оловом, алюминием, сурьмой, никелем, вольфрамом, молибденом, титаном, которые оказались так нужны для индустриализации страны и потребность которых опять-таки покрывалась их импортом.

Большой заслугой Н.М.Федоровского стала разработка программы экспорта минерального сырья и ликвидации его импорта, которая

превратилась в эффективную стратегию деятельности Института прикладной минералогии. Для разработки программы ему очень пригодился опыт работы за границей в первые годы советской власти.

Николай Михайлович хорошо представлял препятствия на пути реализации его программы, которые следовало устранить в самый короткий срок. Это прежде всего малая осведомлённость отечественных экспортёров о потребностях внешнего рынка в минеральном сырье и о состоянии добычи внутри Союза. Во всех торговых представительствах за границей этим вопросом занимались обычно попутно, не выделяя на эту работу специальных работников, знающих не только заграничный рынок этих ископаемых, но и особенности отечественного сырья, условия его добычи и переработки. Он полагал, что здесь нужны профессиональные специалисты, занимающиеся этой проблемой постоянно и постепенно набирающие необходимый опыт работы в разных странах. Они должны были периодически делать доклады и обзоры в Союзе. Даже такая простая мера сразу могла дать ощутимые результаты.

Для развития экспорта нужно строить новые цеха, рудники. На это нужны капиталовложения. К такому роду продуктов относятся, например, магнезит, слюда, хромит. Несмотря на то, что в этих минералах чрезвычайно нуждалась Европа, СССР не мог расширить их экспорт, поскольку нужны были слишком большие капитальные затраты для расширения предприятий.

Существовали также минералы и руды, где имелся избыток добычи сравнительно с внутренними потребностями, и потому имелась реальная возможность наладить экспорт. Тогда эта группа была невелика: асбест, калийные соли, частично каолин.

Наконец, существовали месторождения, мало разрабатывавшиеся или разработка которых вообще не велась. Их можно было со сравнительно небольшими затратами пустить в ход или расширить. Таковыми были, например, залежи талька, кислотоупорного асбеста. На разработку месторождений такого рода минералов, которые могли бы очень быстро дать продукты для экспорта за границу, не хватало сравнительно небольших капиталовложений.

Если вопросы ликвидации импорта минерального сырья находились в поле зрения власти, из-за постоянного нажима на импортный контингент хозяйственные, экономические и научно-исследовательские организации основательно и с успехом прорабатывали вопросы

замены импортных руд и минералов собственными продуктами, то проблемы экспорта фактически не прорабатывались.

Н.М.Федоровский полагал, что в планах геологоразведочных работ Союза должна особо выделяться группа экспортных минералов. Верстая такие планы, следует учитывать потребности экспорта. Например, экспорту минералов и руд благоприятствует близость к портам, к морю, большим рекам, впадающим в море, близость месторождений к границе. Это всё должно учитываться в планах.

Н.М.Федоровским была предложена аналитическая сводка по различным видам минерального сырья, в которой на большом фактическом материале сравнений с зарубежными добывающими странами были показаны возможности и перспективы перехода от импорта сырья к его экспорту²¹. Меньше чем за десятилетие по различным видам минералов и руд благодаря деятельности ИПМ удалось перейти от импорта к экспорту.

Импорт естественных абразивов (корунд, наждак, пемза, точильные и шлифовальные камни, жернова и т. д.) был полностью прекращён. Растущее внутреннее потребление обеспечено разведанными запасами сырья на уральских месторождениях и вновь открытых месторождениях в Казахстане (Семиз-Бугу) и в Якутии (Чайныт).

По добыче корунда (7 400 т) СССР уже тогда занимал первое место в мире. Добыча Южноафриканского Союза составляла до 2 000 т. Добыча наждака в СССР достигла в начале 1930-х годов 4600 т, уступая только Греции – 13 000 т и Турции – 11 000 т (цифры добычи докризисного периода), поставляющим сырьё на мировой рынок.

Запасами граната СССР был обеспечен, однако не вполне была изучена технология известных месторождений (Урал, Карелия) и не вполне ясны общие перспективы промышленного использования гранатов как нового вида абразивов. Гранатовая промышленность находилась ещё в стадии организации. В части разнообразных точильных, шлифовальных и жерновых камней имелись более чем достаточные запасы.

После открытия и разведки хибинских апатитов ни одна страна в мире не обладала такими колоссальными запасами этого минерального сырья. В те годы разведанные запасы апатитов в Хибинах определялись в 530 млн т руды при возможности извлечения

²¹ *Федоровский Н.М.* Проблема экспорта минерального сырья и ликвидации импорта // Минеральное сырьё. – 1934. – № 10. – С. 1-7.

200 млн т фосфорного ангидрида. Эти запасы далеко не исчерпывали возможностей Хибин. В течение трёх лет было построено предприятие-гигант по эксплуатации этих залежей. В 1933 г. в связи с окончанием постройки обогатительной фабрики налажен крупный экспорт апатитового концентрата.

Некоторые успехи были достигнуты в части фосфоритов. Запасы по разведанным месторождениям исчислялись в 3308 млн т. Прежде крупный импорт (в 1930 г. на 48 230 тыс. руб.) фосфоритов, суперфосфата, а также томас-шлаков, начиная с 1932 г. был ликвидирован. Однако развитие промышленности сильно запаздывало и не соответствовало мощности природных ресурсов.

СССР в отличие от западных стран располагал богатейшими месторождениями хризотилового асбеста, запасы которого по одному Баженовскому месторождению на Урале (5708 тыс. т). полностью покрывали потребность Советского Союза и позволяли ежегодно выделять на экспорт крупные партии сортового высококачественного асбеста. Мировая добыча, достигавшая в 1929 г. 409 тыс. т (главный поставщик Канада – 287 тыс. т), в 1931 г. из-за кризиса снизилась до 258 тыс. т. При этом на долю СССР в 1929 г. приходилось 35 тыс. т, а в 1932 г. 65 тыс. т. СССР оказался единственной страной, в которой добыча продолжала расти. Импорт хризотилового асбеста и изделий из него, достигавший в 1930 г. 649 тыс. руб., начиная с 1933 г., был полностью прекращён. Одновременно происходило успешное развитие экспорта асбеста, который, начиная с 12 389 т на 1 725 тыс. руб. в 1913 г. возрос в 1930 г. до 16 201 т на 4520 тыс. руб.

СССР располагал многочисленными и мощными, но плохо разведанными месторождениями барита в разных районах. Закавказские месторождения высококачественного барита были освоены частично в промышленном масштабе, в ряде районов созданы предприятия по добыче и обработке барита. Импорт барита и его производных был прекращён.

Запасы бора, выявленные в сопках Керченского и Таманского полуостровов, были недостаточны для полного прекращения импорта, который тем не менее из года в год снижался. Отмечая, что реальное значение имеют вновь открытые месторождения борсодержащего минерала датолита, рассеянного среди контактных пород в трахитах Пятигорского района, Н.М.Федоровский указывал на необходимость дальнейших работ по отысканию новых месторождений борсодержа-

щих минералов и высказывал предположение о возможности отыскать борные озёра, аналогичные тибетским, обладающие мощными запасами природной буре.

Из буровых вод в Закавказье и из вод Сакского озера (Крым) было впервые налажено получение брома. Импорт был прекращён. Особый промышленный интерес для извлечения брома в крупном масштабе приобрели соликамские карналиты и карабугазские соли.

Промышленные скопления ванадия в СССР были связаны главным образом с титано-магнетитовыми рудами, где ванадий присутствует совместно с титаном. Наибольший промышленный интерес в этом отношении приобрело Кусинское месторождение на Урале, где получение ванадия из титано-магнетитовых руд было обеспечено выявленными разведками ИПМ большими запасами сырья и разработанными ИПМ и его Уральским отделением технологическими процессами комплексной обработки этих руд. Запасы ванадия в титано-магнетитовых рудах значительны. Но имелась также возможность получения ванадия из эгиринов и других минералов нефелин-сиенитового массива Хибин. Освоено получение ванадия из керченских руд. Однако возрастающая потребность в этом металле далеко не покрывалась собственным производством. Необходимы дальнейшие работы по освоению методики плавки титано-магнетитов Урала. Н.М.Федоровский замечал, что в споре о том, какой метод лучше, мы до сих пор платим за тонну феррованадия до 16 тыс. золотом.

Крупные запасы чрезвычайно ценного минерала вермикулита были открыты в те годы на Среднем Урале на севере Вишнёвых гор. Однако промышленная эксплуатация этого ценного месторождения так и не была налажена, добыча производилась хищническим путем, несмотря на быстрый рост потребности в ней не только внутреннего, но и внешнего рынка. В 1934 г. впервые приступили к экспорту вермикулита. Необходимы были дополнительные работы по изучению месторождения и методов его эксплуатации. Ценный минерал расхищался, нужное и важное в деле обороны страны производство термоизоляций не было налажено.

Огромные запасы сырья в разных районах и развитие крупной промышленной добычи позволили быстро и полностью ликвидировать импорт гипса, достигавший в 1913 г. 122 376 т на 1 261 тыс. руб. Однако возможности экспорта гипса тогда ещё не были реализованы.

На протяжении многих лет потребность в адсорбционных глинах для очистки керосина и растительных масел покрывалась путём импорта, который в начале 1930-х годов был полностью прекращён. Работами ИПМ были выявлены крупные месторождения адсорбционных глин в Закавказьи (гумбрин и асканская глина) и в других районах Союза. Запасы этих глин не только полностью покрывали потребность в них со стороны внутреннего рынка, но и позволяли организовать широкий экспорт в европейские страны и США, которые, несмотря на большую добычу (свыше 200–250 тыс. т), прибегали к их импорту.

Все сорта графита, за немногими исключениями, на протяжении десятилетий ввозились из-за границы. Работами ИПМ были открыты и изучены новые месторождения графитов в Сибири (Курейка) и на Украине (Старокрымское, Завалье и др.). Был освоен технологический процесс получения всех товарных сортов графитов, в том числе и тигельных. Вновь выстроенные заводы в Завалье (Украина) мощностью в 4 тыс. т в год обработанного графита (тигельного) и Кыштым (Урал) вполне обеспечивали потребность страны в графите. Импорт графита был полностью прекращён (в 1930 г. он достигал 4 195 т на сумму 476 тыс. руб.). При надлежащей организации возможно было наладить экспорт курейского аморфного, а также украинских тигельных графитов.

Среди драгоценных камней наиболее заметную роль играли тогда изумруды, имевшие исключительное экспортное значение. Уральские изумрудные копи пользовались мировой известностью и ежегодно поставляли на мировой рынок крупные партии прекрасных камней. Конкурентом по изумрудам на мировом рынке являлась лишь Британская Колумбия и отчасти Бразилия.

Кроме того, на территории СССР имелся ряд месторождений всевозможных других драгоценных и цветных камней (александритов, аквамарин, хризотил и т.д., а также нефрита, малахита, лазурита и разных яшм). Н.М.Федоровский писал: “По целому ряду камней мы не имеем конкурентов и при надлежащей организации дела могли бы наладить геологоразведочные работы по выявлению и опробованию месторождений, а также исследовательские работы по обработке камней. Пока же изделия из камня у нас исключительно бездарны и отражают упадочнические вкусы XIX века. Кустари не организованы. То, что сделано с Палехом в области

экспортной миниатюры, надо сделать и в области изделий из поделочного камня”²².

Одним из крупных достижений ИПМ было решение проблемы каолина в стране. В России каолин являлся объектом импорта. Работами ИПМ путём систематических разведок и комплексного изучения месторождений каолинов и методов его обогащения выявлены крупнейшие сырьевые базы, на основе которых построены новый мощный Просяновский завод, заново реконструированы Глуховецкий и Турбовский на Украине. Импорт был полностью прекращён, потребности всех отраслей промышленности в различных сортах каолина были удовлетворены собственной добычей. Промышленные запасы по украинским месторождениям каолина исчислялись в десятки миллионов тонн. СССР вошёл в число крупнейших мировых производителей каолина. Начавшийся в 1927 г. экспорт каолина, в 1931 г. достиг 16 473 т на сумму 200 тыс. руб., однако в дальнейшем стабилизировался на этом уровне. Для увеличения экспорта и районирования каолиновой промышленности необходимо было строительство новых заводов, такие работы велись, в частности были выявлены новые сырьевые базы на Урале.

Разведками в конце 20-х – начале 30-х годов были выявлены и изучены крупнейшие в мире карналитовые месторождения в Соликамске на Урале с запасами свыше 15 млрд. т, что вывело СССР в число крупнейших мировых производителей калийных солей.

С 1927 г. полностью прекращён импорт магнезита, поскольку огромные запасы кристаллического магнезита на Сатанинском месторождении и вновь выстроенный завод-гигант полностью обеспечили внутреннюю потребность и спрос внешнего рынка. Добыча сырого магнезита в 1933 г. достигла 368 тыс. т, выявленные запасы измерялись 200 млн. т. Начиная с 1931 г., СССР вышел в мировой добыче магнезита на первое место. Мировая добыча сырого магнезита, составлявшая в 1929 г. 1 089 тыс. т (в Австрии из них 38 тыс. т и в СССР 189 тыс. т), снизилась в 1931 г. до 664 961 т, хотя одновременно в СССР возросла до 246 600 т. Экспорт магнезита из СССР в 1930 г. составил 22 825 т на 1 174 тыс. руб., однако с тех пор испытывал некоторое снижение из-за быстрого роста внутренней потребности. Ценный аморфный плотный магнезит был разведан в ограниченных

²² Там же. – С. 3.

объёмах: Халиловское месторождение с запасами до 350 тыс. т являлось на то время единственным промышленно освоенным.

В результате организация широкой промышленной эксплуатации крупных месторождений мела был прекращен импорт мела всех сортов, который в 1913 г. составлял 135 880 т на сумму 1385 тыс. руб. Одновременно был начат экспорт этого сырья в страны Прибалтики.

До 1930 г. из-за границы ввозилась пемза. Разведанные и изученные ИПМ месторождения пемзы разных сортов (вплоть до исключительно высоких) в Армении обеспечили полное покрытие потребности и прекращение импорта. С 1931 г. приступили к экспорту кусковой высококачественной пемзы.

Импортировались и полевые шпаты. Разведки и изучение месторождений полевого шпата позволили организовать крупнопромышленную добычу и прекращение импорта. Разведанные месторождения в Карелии, на Урале и Украине, а также освоение технологических процессов получения керамического сырья на вновь выстроенном Петрозаводском пегматитовом заводе открыли перед полевошпатовой промышленностью СССР широкие перспективы. Вместе с тем Н.М.Федоровский отмечал, что налаженный в 1928 г. экспорт высококачественного полевого шпата стал сокращаться из-за недостаточной изученности месторождений пегматитов Карелии.

Работами ИПМ были разведаны крупные месторождения плавикового шпата в Забайкалье, выявлены новые сырьевые базы в Средней Азии, а также в Приполярье на берегу Карского моря. Выявленные запасы в полностью обеспечили прогрессирующую потребность внутреннего рынка в плавиковом шпате. Импорт плавикового шпата, криолита и фтористых соединений (достигавший в 1931 г. 327 тыс. руб.) был полностью прекращён.

Недостаточной была изученность месторождений селена. Селен получали при сернокислотном производстве в размерах, покрывавших внутреннюю потребность. Импорт был прекращён, а налаженный было экспорт приостановился. Поэтому ИПМ планировал развернуть поисковые работы на селен.

Были выявлены крупные месторождения серы в Средней Азии и Поволжье. Но технология их разработки не была ещё освоена. Н.М.Федоровский хорошо понимал, что организация собственной серной промышленности позволила бы значительно сократить

импорт серы и прилагал конкретные усилия для технологического освоения месторождений среднеазиатской и поволжской серы.

В результате комплексных работ ИПМ разведаны богатейшие в мире месторождения слюды (мусковиты и флогопиты) в Восточной Сибири и создана крупная промышленность по обработке слюды. По добыче товарной слюды СССР занял первое место в мире. Непрерывно возрастающая потребность промышленности в слюде начала покрываться собственной слюдой. Добыча обработанной слюды в СССР достигла 600 т (по размерам равняясь лишь Индии, наивысшая добыча которой определяется в 440 т). Импорт слюды и слюдяных изделий, оценивавшийся в 1930 г. в 126 тыс. руб., был прекращён. Начат её экспорт, но из-за потребностей советской промышленности он стал сокращаться. Разведки и поиски слюды необходимо было непрерывно продолжать.

Ряд разведанных и изученных месторождений талька и талькового камня на Урале, в Закавказье и Карелии послужил базой для создания промышленной их добычи, которая полностью обеспечила внутреннюю потребность страны. На базе разведанных крупнейших месторождений талько-магнезитового камня было организовано производство огнеупорных талько-магнезитовых кирпичей и построен крупнейший в мире тальковый комбинат. Несмотря на наличие крупных месторождений, добыча талька в СССР всё-таки была ограниченной. Мировая добыча его в 1929 г. составляла 417 300 т (из них в США 109 600 т и во Франции 105 800 т). Добыча в СССР молотого талька составляла 6 тыс. т, талько-магнезитовых кирпичей до 20 тыс. т. Импорт талька был полностью прекращён. Но необходимы были дальнейшие комплексные исследования месторождений талька и окончательное разрешение вопроса о разделении талько-магнезитового камня на две фракции – тальк и магнезит. Экспорт талька сдерживался из-за технологических проблем: нужны были импортные мельницы для получения высоких сортов.

ИПМ обеспечил получение титана в промышленном масштабе на базе выявленных месторождений титано-магнетитов и отчасти ильменитов на Урале, что создало реальные перспективы для экспорта титанистого железнняка.

Разведанные на Урале крупные месторождения хромитов не только удовлетворили внутренние потребности страны, но и позволили ежегодно выделять на экспорт большие партии высококачес-

твенных руд. Месторождения хромитов, обнаруженные в других районах, в частности на Кавказе, были недостаточно изученными и требовали развёртывания поисково-разведочных работ. Добыча хромитов в СССР возросла в 1934 г. до 150 тыс. т и заняла первое место в мире. Экспорт хромита, составлявший в 1932 г. 41 627 т на 1 163 тыс. руб., имел широкие перспективы, так как ни одна из развитых стран не располагала собственной добычей хромитов. Однако, полагал Н.М.Федоровский, хромитовая промышленность организована неправильно. Крупнейшее в мире Сарановское хромитовое месторождение находится в ведении химзавода и не используется в полной мере.

По его оценке, полностью ликвидирован импорт абразивных материалов (корунда, наждака, пемзы), барита и его производных, брома и его производных, гипса, глин строительных, огнеупорных и адсорбционных, графита, калия, каолина, красок минеральных, магнезита и мела, плавикового шпата и фтористых соединений, полевого шпата, кварца и пегматитов, серного колчедана и серной кислоты, слюды и изделий из нее, стронцианита и его производных, фосфоритов и суперфосфатов. Значительно сокращён и близок к ликвидации импорт искусственных абразивов, графитовых изделий, асбестовых изделий, серы, бора. Импорт заменён экспортом магнезита, каолина, графита, слюды, талька, исландского шпата, адсорбционных глин, диатомита, полевого шпата и мела. Существенно расширен экспорт асбеста, хромита, апатитов, озокерита.

Опыт ИПМ показал, что наличие месторождений определённого вида минерального сырья вне зависимости от географического распространения и степени разведанности, ещё не является гарантией не только успеха, но даже и возможности организации экспорта. Кроме того, крупнейшее значение, предопределяющее успех внедрения на внешнем рынке, приобретает качественная характеристика минерального сырья, соответствующего техническим требованиям зарубежных потребителей. Темпы развёртывания экспорта и успех реализации отдельных видов сырья находятся в прямой зависимости от степени обеспеченности данным объектом основных мировых потребителей.

Н.М.Федоровский отмечал, что по всем видам минерального сырья, следует стремиться к переходу от экспорта необработанного сырья к экспорту полуфабрикатов или во всяком случае к его обо-

гашению, с целью доведения до материала, отвечающего всем техническим требованиям рынка. Говоря о возможностях экспорта, он указывал, что одно наличие месторождений данного вида полезного ископаемого в пределах обширной территории не является еще само по себе гарантией успеха его экспорта. Для этого необходимо еще сочетание ряда других предпосылок.

Мощность сырьевой базы и количество разведанных запасов должны покрывать одновременно, как правило, огромную и стремительно растущую потребность собственного индустриализируемого народного хозяйства и экспорта. Недостаточная разведанность и подготовленность запасов в недрах лимитировали успешно налаживавшийся крупный экспорт. Так было в 1930–1931 гг. со слюдой, когда необходимость предварительного обеспечения собственной электротехники заставила при наличии мощной, но слабо в то время разведанной базы сдерживать экспортные операции. Так обстояло дело с грузинским баритом, который при неподготовленности других баз шёл для тампонажа буровых скважин, будучи первоклассным экспортным товаром.

Разведанные месторождения должны быть так размещены на географической карте, чтобы, обеспечивая внутренние нужды, можно было снабжать экспортные операции из районов, по возможности непосредственно тяготеющих к морским путям вывоза. Ярким примером того, как географическая удаленность базы лимитирует экспортные возможности, являлся уральский тальк, попытки экспорта которого терпели неудачу вследствие чрезмерной удалённости базы от моря.

Предлагаемое внешнему рынку минеральное сырьё должно при наличии всех указанных выше благоприятных количественных и транспортно-географических предпосылках ещё удовлетворять и качественным, обычно очень определённым требованиям этого рынка.

Все эти внутренние предпосылки должны, разумеется, сочетаться с основным внешним условием – прямым, устойчивым спросом зарубежного рынка на данный вид сырья. Попытка игнорировать сочетание этих основных требований и является неизменной причиной неуспеха целого ряда экспортных начинаний.

За десять лет своего существования ИПМ проделал огромную работу по созданию промышленности минерального сырья и ос-

вобождению СССР от иностранной зависимости. Многие отрасли промышленности (графитовая, слюдяная, каолиновая, строительных материалов, каменного литья, фтористых солей и криолита, редких элементов, баритовая, химическая и бумажная, производства мышьяковистых солей, дефибрерных камней, красок – титановые белила и охра, цветная металлургия, заглинские алуниты, уральские и сибирские бокситы и др.) созданы в результате научной, производственной и организационной деятельности Института прикладной минералогии. Были построены многие заводы, цехи, рудники, открыты карьеры, разработаны принципиально новые технологии.

Вопреки иногда высказываемым суждениям, что в советское время наука имела всё, что хотела, ИПМ в 1920-30-е годы в бюджетном плане обеспечивался совершенно мизерными средствами. Поэтому, чтобы реализовать масштабную программу Н.М.Федоровского, необходимо было зарабатывать самим, выполнять многочисленные, как говорят ныне, хоздоговорные темы, брать кредиты, часто на кабальных условиях.

Комплексный метод Н.М.Федоровского предполагал, что мало проводить исследования по актуальным направлениям, искать месторождения минерального сырья и изучать его в лабораториях института. ИПМ должен был обрасти самой разнообразной опытно-производственной базой, в том числе заводской, для того чтобы осуществлять весь цикл от науки до производства и сократить пути внедрения новаций. Надо сказать, что в труднейших условиях восстановительного периода и напряжения всех сил и средств для индустриализации это ему удалось с огромным экономическим эффектом. Институт, несмотря на все препоны бюрократизации и перманентные реорганизации, столь характерные для этого периода отечественной истории, создал уникальную по своим масштабам даже по нынешним меркам опытно-производственную базу в виде опытных рудников по всей стране, опытно-экспериментальных производств и заводов, на которых имел возможности доводить свои новации до воплощения в конкретных технологиях, которые быстро находили себе применение. Советские руководители и иностранные специалисты постоянно посещали эти предприятия и знакомились с новыми технологиями, в краткие сроки освободившими отечественную промышленность от зависимости импорта минерального сырья. Например, один из главных опытных заводов института находился в Царицыно, где

широким фронтом велись изыскания методов получения вольфрама, молибдена и берилла, что было чрезвычайно актуально для быстро развивавшейся промышленности.

Н.М.Федоровскому постоянно приходилось бороться за выживание института, против покушений на его комплексность. Он доказывал, что институту для научно-исследовательских работ необходимы опытные рудники, производство обогащения и опытный завод для проверки лабораторных результатов, для совершенствования технологий переработки руд и минералов в готовую продукцию.

Пафос борьбы Н.М.Федоровского был направлен против того, что впоследствии стало главным бедствием отраслевой науки в СССР, – против её ведомственности, разгородившей и разорвавшей мощный научный потенциал отраслей народного хозяйства на ведомственные клетушки. Именно комплексность подхода к проблемам минерального сырья стала залогом быстрого и эффективного осуществления перехода от импорта сырья к его экспорту.

Успехи Института прикладной минералогии в ликвидации импорта минерального сырья и переходу к его экспорту были достигнуты в краткие сроки благодаря чётко разработанной стратегии, сочетавшей разностороннюю исследовательскую деятельность с разработкой технологических схем извлечения полезных ископаемых. Технологии, разработанные в институте, нашли быстрое воплощение в промышленности. Весомый вклад наследника ИПМ (в 1936 г. институт был преобразован) Всесоюзного института минерального сырья вполне различим в победе в Великой Отечественной войне, в реализации атомной, космической и других государственно-значимых программ, преобразовавших облик и статус страны.

Изучение инфракрасных спектров минералов²³

Инфракрасная спектроскопия минералов существенно расширила представления о многообразных физических свойствах минералов. Начиная со второй четверти

XX столетия, когда минералогия вступила в новую – кристаллохими-

²³ Краткое извлечение из неопубликованного труда А.С.Поваренных “Природа химической связи и атлас инфракрасных спектров минералов”.

ческую – стадию своего развития, определился качественно новый период её истории, заключающийся не только в описании и измерении интенсивности свойств минералов, а в раскрытии или расшифровке их природы и строгом количественном её выражении и оценке. Это стало возможным на базе познания конституции минералов, т. е. на основе правильно понятой взаимосвязи и взаимообусловленности химического состава и атомного их строения, до того науке практически не известной.

Появились такие новые, детально не изученные, но важные структурные характеристики внутренней природы минералов, как, например, межатомные расстояния и координационные числа атомов, плотность их упаковки в структуре, валентные соотношения и электросродство атомов, тип химической связи и другие, дающие возможность определить прочность межатомных сил в кристаллах. Эта прочность межатомных связей в сочетании с различными их типами (металлической, ионной, ковалентной и остаточной) широко варьирует в реальных кристаллических индивидах различного химического состава и структуры.

В связи с разработкой метода расчёта прочности межатомных сил в минералогии произошёл качественный скачок: очень многие свойства минералов, особенно степень их проявления, стало возможным вычислять и рассчитывать по так называемым кристаллохимическим формулам. К ним относятся, например, такие свойства как твёрдость минералов по модернизированной шкале Мооса и величины волновых чисел для максимумов валентных и деформационных колебаний в инфракрасных спектрах порошков кристаллического минерального вещества.

На протяжении почти всего XIX столетия, в связи с отсутствием надлежащих приборов для получения инфракрасного излучения и регистрации спектров поглощения его веществом, практическое применение метода не развивалось. К концу XIX столетия постепенно была разработана специальная аппаратура, генерирующая инфракрасное излучение в широком диапазоне и автоматически записывающая инфракрасные спектры поглощения различных веществ. Затем, в начале XX столетия, было установлено, что каждому химическому соединению соответствует своя собственная кривая поглощения инфракрасного спектра, в которой легко обнаруживаются максимумы, имеющие строго фиксированное положение и отвечающие валентным

и деформационным колебаниям межатомных связей, принадлежащих различным атомным комплексам в его структуре.

С этого времени инфракрасные спектры становятся общепризнанным характеристическим свойством вещества и приобретают особый интерес для целей быстрой его диагностики и качественного анализа.

Начиная с 1930-х гг. наступает период постепенного внедрения в практику научных исследований метода ИК-спектроскопии с целью изучения сначала органических, а затем и неорганических соединений. С 1950 гг. он приобретает широкий размах всё более интенсифицирующихся исследований и в минералогии, сначала в США, а затем в странах Европы, СССР и Японии. Параллельно с этим развиваются методические работы в направлении усовершенствования ИК-спектрографов и расширения круга задач, разрешаемых этим методом в минералогии и химии.

На первом этапе доминировали исследования ИК-спектров минералов и неорганических веществ, имеющие не систематический, а скорее рекогносцировочный, ознакомительный характер. Поэтому почти все работы этого направления содержали преимущественно отрывочный, а подчас даже случайный материал по отношению к общей проблеме самого метода и задачам минералогии. Среди них заслуживают внимания работы по ИК-спектроскопии силикатов, а также важнейших пороодообразующих минералов, некоторых шпинелей ферритового состава и попытка интерпретации ИК-спектров кристаллов с изоморфным замещением атомов. Были составлены первые краткие сводки, суммирующие данные по колебательным спектрам некоторых химических веществ и минералов и записаны ИК-спектры сульфидов, селенидов и теллуридов цинка и кадмия на приборах с длинноволновым диапазоном. Вместе с накоплением всё новых данных по ИК-спектроскопии неорганических веществ развиваются теоретические основы метода на базе фактор-группового анализа и публикуются первые фундаментальные монографии, посвящённые этой теме. Особенно четко в этих исследованиях выступает связь ИКС с симметрией кристалла.

Начиная с 1960 г., исследования и публикации по ИКС-спектроскопии минералов и других неорганических соединений возрастают с ещё большей интенсивностью. Продолжается изучение ИКС силикатов каркасного, цепного, островного, кольцевого и слоистого

строения, а также многих окислов, сульфатов, нитратов, галогенидов, карбонатов и фосфатов. Одновременно предлагается использовать ИКС как метод исследования и различения полиморфных видов.

В этот период составляются более полные сводки по инфракрасной спектроскопии неорганических веществ и минералов и библиографические указатели по ИКС-спектроскопии. Для минералогов особую важность приобретает полная по тому времени двухтомная сводка в виде специальных таблиц ИК-спектров, составленная Менке на материале минералогического музея Фрайбергской горной академии в ГДР. В этой сводке в крупном масштабе представлены кривые ИК-спектров свыше 450 минеральных видов и разновидностей, но без сравнительного сопоставления богатого фактического материала.

Наряду с дальнейшим изучением и анализом природы ИК-спектров упомянутых важнейших классов неорганических веществ и минералов и расширением числа их объектов, начиная с 1970-х годов в орбиту подобных работ попадают также многие представители более редких и менее исследованных классов минералов. К последним относятся гидроокислы, фториды и хлориды, сульфиды, бораты, ванадаты, арсенаты, молибдаты и вольфраматы, селенаты и селениты, теллуриды и йодаты.

В это же время за рубежом издаются многочисленные монографии по ИК-спектроскопии методического и общетеоретического содержания. В СССР, кроме аналогичных работ, выходят также книги Лазарева и Плюсониной, посвященные в значительной мере систематическому описанию ИК-спектров силикатов. В 1974 г. под редакцией Фармера на базе таблиц ИКС Менке издается коллективная монография “Инфракрасные спектры минералов”, в составлении которой приняли участие крупнейшие специалисты-физики того времени. В ней нашли отражение не только феноменологические достижения в области спектроскопии минералов, но и первые шаги на пути кристаллохимической её интерпретации. В этом отношении данная монография представляла собой хорошее методическое пособие, и, одновременно, довольно полный справочник. Другие сводки и атласы ИКС минералов и химических веществ намного уступают вышеупомянутому коллективному труду и в полноте данных и особенно в методическом отношении. Следует лишь отметить, что в большинстве из них ИК-спектры веществ записаны в значительно более широком диапазоне длин волн (до 23-45 см), а это особенно важно для регист-

рации и оценки слабых атомных колебаний, создаваемых тяжёлыми и низковалентными элементами в структуре минералов.

Рассматривая историю применения метода ИК-спектроскопии в минералогии, следует подчеркнуть, что на первом её этапе (1940-1960 гг.) доминировали работы регистрационного и сравнительного содержания. В этот период происходило активное накопление экспериментального материала без какой-либо попытки связать его с природой исследуемого вещества. Лишь в конце 1950-х гг. появляются первые работы, в которых рассматриваются некоторые структурные детали вещества, влияющие на природу межатомных связей в его кристаллах, а, следовательно, и на форму кривой ИК-спектра и на местоположение на ней главных полос поглощения.

Так, в 1958 г. Липпинкот с сотрудниками, изучая ИК-спектры полиморфных модификаций SiO_2 и GeO_2 , искал объяснение сдвигу характеристической полосы поглощения в различии координационных чисел, межатомных расстояний и масс составляющих атомов. Эту работу продолжили на более обширном материале Дачий и Рой. Главными факторами, обуславливающими местоположение фундаментальных полос абсорбции на кривой ИК-спектра, они считали, наряду с координацией и массой атомов, также их валентность. Однако предложенное ими уравнение максимума главной полосы поглощения успешно удалось применить лишь при определении величина валентных колебаний кварца, коусита, стишовита и двух модификаций двуокиси германия.

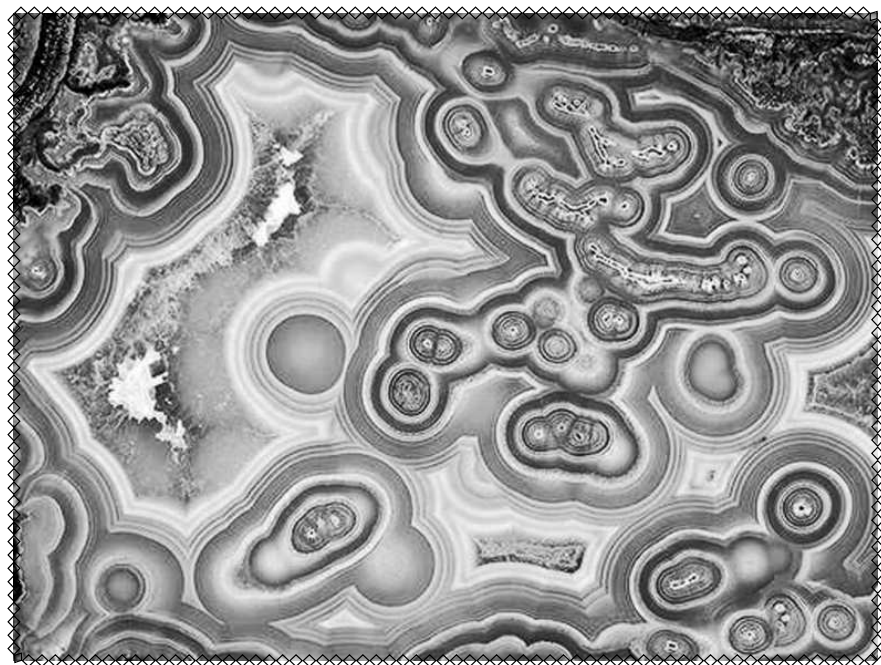
Позже Милки в 1960 г. пытался найти связь между формой ИК-спектров и структурными особенностями каркасных силикатов и алюмосиликатов, но без учёта других кристаллохимических факторов он не добился успеха. В 1961 г. Хафнер и Давес, а затем Прюдом и Тарт, Уайт и Де Анаедис успешно изучали вопрос связи между ИК-спектрами и распределением атомов по тетраэдрическим и октаэдрическим позициям в нормальных и обращённых шпинелях. Важное значение имеют работы Тарта, исследовавшего влияние на конфигурацию кривой ИК-спектра массы координационного числа атомов и структурных отличий минералов, особенно чётко проявляющихся в ИК-спектрах полиморфных минеральных видов. Он одним из первых определил границы (диапазон) изменения максимумов полос поглощения характеристических частот для важнейших минералообразующих элементов в кислородном их окружении в различных структурах неорганических соединений и минералов. В ряде работ

других авторов было, кроме того, подчеркнуто существенное влияние на ИК-спектры валентности составляющих электроположительных атомов, наиболее отчётливо проявляющееся в соединениях таких элементов как ванадий, хром, марганец, железо, и другие, часто выступающих в составе минералов в разных валентных состояниях одновременно.

Постепенно становилось ясным, что прочность межатомных связей, обусловленная природой или конституцией минерала, играет решающую роль в поглощении им инфракрасного излучения и строго определяет местоположение максимумов абсорбции в его ИК-спектре. Главными кристаллохимическими факторами, определяющими прочность связей, являются валентность атомов (катиона и аниона), координационное число катиона, межатомные расстояния катион-анион, приведённая масса катиона, а также коэффициент относительной прочности межатомной связи.

Характер и степень искажения катион-анионных полиэдров, отражающие разную прочность в них межатомных связей, чётко проявляются на кривых ИК-спектров минералов, обуславливая большое разнообразие конфигураций полос поглощения, отвечающих валентным и деформационным колебаниям. Это позволяет, в свою очередь, делать прогностические суждения и выводы о симметрии катион-анионных полиэдров в структуре минерала и об интенсивности их искажения. Вместе с тем важно подчеркнуть наличие прямой связи ИК-спектров поглощения со структурными мотивами индивидов кристаллического вещества. Тип и степень ассоциации атомных полиэдров в структуре минерала находят своё отражение в форме кривой его ИК-спектра. которую, подчас, не сразу удаётся с уверенностью однозначно интерпретировать, особенно в тех случаях, когда форма атомных полиэдров сильно искажена.

Тем не менее, связь ИК-спектров минералов с их конституцией в полной мере раскрывает большие перспективы метода ИКС в минералогии. Помимо узко прикладных задач, связанных с определением минералов, метод ИКС позволяет быстро и надёжно определять многие свойства составляющих минералы атомов – их валентность, координацию, массу, межатомные расстояния, тип ассоциации атомных полиэдров в структуре минерала и др. Все эти различные и сложные задачи, прямое и быстрое решение которых обеспечивает метод ИКС, ставят его на одно из первых мест в области всестороннего изучения конституции минералов.



МИНЕРАЛОГИЯ В ПЕРСПЕКТИВЕ

Структура и методы современной минералогии

Минералогия изучает состав, свойства, морфологию, особенности структуры, процессы образования и изменения минералов, законо-

мерности их совместного нахождения в природе, а также условия и методы искусственного синтеза и практического использования минералов. Главные её задачи: разработка научной классификации минералов, выявление связей между вариациями их состава, строения, свойств и условиями образования и нахождения в природе; создание научных основ для поисков и оценки месторождений минерального сырья, совершенствования технологии его переработки, вовлечения новых видов минерального сырья в промышленное использование; разработка методов искусственного выращивания и обогащения кристаллов ценных минералов.

В своём развитии минералогия наиболее тесно связана с физикой твёрдого тела и химией; методы и теоретическая концепция этих наук особенно интенсивно внедряются в современную минералогии с 50-х гг. XX в. Объекты исследования в минералогии – минеральные индивиды, агрегаты, парагенезисы и ассоциации.

Современная минералогия включает ряд основных направлений. *Описательная минералогия* охватывает весь круг вопросов, относящихся к характеристике отдельных минералов: их конституции, физических свойств, морфологии выделений. Описательная минералогия занимается также вопросами систематики и классификации минера-

лов, устанавливает вариации их химического состава, изучает зависимости между физическими свойствами минералов и особенностями их состава или кристаллической структуры. Самостоятельный раздел описательной минералогии – *физика минералов*, использующая методы физики твёрдого тела при исследовании реальных кристаллов минералов. Особый раздел описательной минералогии – *минераграфия*, занимающаяся изучением рудных минералов с применением специфических методов исследования (оптики отражённого света, микрохимических реакций и др.).

Генетическая минералогия выясняет условия, процессы и способы образования и изменения минералов в природе. Различают несколько самостоятельных разделов генетической минералогии: учение о типоморфизме минералов, связывающее особенности морфологии, состава, структуры и физических свойств минералов с геологическими и физико-химическими условиями их формирования (учение о типоморфизме распространяется и на минеральные ассоциации); термобарогеохимию (исследование твёрдофазных и газожидких включений в минералах), дающую информацию о химизме минералообразующей среды и физико-химических параметрах (температура, давление, pH, окислительно-восстановительные условия); изотопические исследования, помогающие вскрыть источник вещества при минералообразовании; трифогенезис, рассматривающий способ питания минералов и их агрегатов в процессе образования; топогенез, охватывающий закономерности распределения минералов в пространстве и механизмы формирования различных типов минералогической зональности; парагенетический анализ как метод изучения эволюции процессов минералообразования путём выявления последовательно сменяющих друг друга во времени и пространстве минеральных парагенезисов и закономерностей, управляющих этой сменой; учение о сосуществующих минералах, базирующееся на принципе фазового соответствия, который позволяет (исходя из предпосылки о равновесности процессов формирования парагенезисов) использовать сосуществующие минералы как геотермометры и геобарометры; энергетические и термодинамические расчёты в минералогии, дающие возможность оценивать кислотно-основные свойства минеральных фаз и вероятную последовательность их возникновения, т.е. судить о физико-химических тенденциях процессов минералообразования; онтогенетический и кристалломорфологический

анализ, расшифровывающий историю и механизм образования минеральных индивидов и агрегатов.

Онтогенез минералов – раздел генетической минералогии, посвящённый изучению генезиса минеральных индивидов и агрегатов, их общему или индивидуальному развитию, включая возникновение (зарождение), рост и агрегацию на разных уровнях (формирование агрегатов), взаимодействия при росте и изменение вплоть до разрушения или полного исчезновения (растворения). С позиций современной генетической минералогии, включающей онтогению и филогению минералов, минерал в особенностях своего состава (в том числе состава микропримесей), тонких деталях структуры, микрогетерогенности, вариациях физических свойств несёт богатую информацию о своём происхождении и позднейшем изменении, расшифровка которой становится возможной лишь с применением физических, физико-химических и кристаллохимических методов исследования.

Экспериментальная минералогия примыкает к генетической минералогии и дополняет её лабораторным моделированием природных процессов минералообразования и изучением физико-химических систем, воспроизводящих природные минеральные парагенезисы и обстановку их формирования.

Самостоятельный раздел экспериментальной минералогии, близкий к ней в методическом отношении, – *синтез и облагораживание минералов*, имеющих многообразное применение в ювелирном деле и технике (алмаз, пьезокварц, оптический флюорит, слюда, рубин, сапфир, гранаты, аметист, изумруд, малахит, опал и др.).

Региональная минералогия и топоминералогия осуществляют минералогическое изучение отдельных участков и территорий – от конкретных рудных месторождений до крупных геологических (рудных, металлогенических) провинций или экономико-географических регионов. Основная задача региональной минералогии – выявление закономерностей пространственного распределения и локализации минералов и минеральных ассоциаций в связи с геологической историей развития провинции (региона) или формирования месторождения. Региональная минералогия непосредственно связывает минералогию с металлогенией и минерагенезом.

Минералогия космических тел (Луны и планет, а также метеоритов) – новая область минералогии, существенно расширяющая сферу её интересов и связывающая минералогию с быстро развивающейся сравнительной планетологией.

Астроминералогия – одно из перспективных направлений современной минералогии, возникшее на стыке минералогии, физики и астрономии. Астроминералогия занимается изучением минералов и минерального состава астероидов, метеоров и других небесных тел, а также астрономической спектроскопией астероидов, комет, метеоров и пыли околозвёздной среды в целом. С другой стороны, в кристаллах минералов и толщах пород фиксируются и на протяжении миллиардов лет геологической истории сохраняются признаки, характеризующие не только эволюцию планеты Земля, но и её взаимодействие с космосом, с другими небесными объектами и космическими явлениями.

Прикладная минералогия в её современном понимании включает три главных раздела. *Поисковая минералогия* опирается на учение о типоморфизме минералов и минералах-индикаторах оруденения. Она ставит перед собой задачу повышения эффективности геологоразведочных работ путём выявления новых минералогических поисковых и прогнозно-оценочных критериев, совершенствования минералогических методов поисков и оценки перспектив оруденения, разработки научных основ комплексирования минералогических методов поисков с геохимическими и геофизическими методами. *Технологическая минералогия* направлена на интенсификацию использования минерального сырья, т.е. на повышение полноты и комплексности его использования. Она охватывает: минералогическое и минералого-технологическое картирование рудных полей и месторождений полезных ископаемых с целью оценки запасов полезных компонентов (в том числе попутных) в извлекаемой минеральной форме, технологические прогнозирование, планирование добычи и стабилизации минерального состава руды, поступающей на обогащательную фабрику; изучение технологических свойств минералов, составляющих руды (электрических, магнитных, плотностных, поверхностных, ионообменных, гранулометри и морфологии рудных минералов, их тонких структурных особенностей, растворимости в воде и в водных растворах электролитов при различных значениях pH и т.д.); разработку методов направленного изменения состава, структуры и свойств минералов путём радиационного, термического (обжиг), акустического (ультразвук) и прочих воздействий с целью повышения извлечения полезных компонентов при обогащении и сортности концентратов, а также улучшения их вскрытия при химико-металлургическом переделе; текущий минералогический контроль состава концентратов на

действующих горно-металлургических предприятиях и разработку рекомендаций по оптимизации технологических режимов передела концентратов с целью повышения сквозного извлечения конечных продуктов в металлургическом процессе. *Минералогия новых видов сырья* занимается выявлением особенностей состава и свойств минералов, пока не нашедших практического применения, которые могут представить интерес для промышленности, а также возможных областей использования этих минералов и их распространённости в природе с целью вовлечения новых минералов в промышленное освоение и расширения сфер применения уже известных видов минерального сырья.

Помимо традиционных методов полевого и лабораторного определения и анализа минералов, а также давно вошедших в минералогическую практику оптического, рентгенографического, и термического методов, минералогия вооружена разнообразными прецизионными физическими методами исследования, такими, как просвечивающая электронная микроскопия (растровая и сканирующая), электроно- и нейтронография, электронно-зондовый (микрорентгено-спектральный) и локальный спектральный (лазерный) анализ, магнетохимия, магнитостатические (метод Фарадея) и термомагнитные измерения, электрофизические методы (определение диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и термо-эдс), серия спектроскопических методов (оптическая, люминесцентная, ИК-спектроскопия), группа резонансных методов: ЯГР (мёссбауэровская спектроскопия), ЭПР (электронный парамагнитный резонанс), ЯМР (ядерный магнитный резонанс) и другие радиоспектроскопические методы, позволяющие вскрывать весьма тонкие особенности кристаллической структуры минералов, наличие в них точечных дефектов и т.д. Всё шире используются в минералогии изотопические методы, методы термобарогеохимии с анализом состава жидкой и газовой фаз включений и привлечением спектроскопии комбинационного рассеяния к исследованию состава минералообразующих сред по индивидуальным включениям. Определение палеотемператур и давлений производится также по составу сосуществующих минералов. Интенсивно развиваются методы количественного фазового анализа в минералогии. Создана, и всё шире применяется в минералогии разнообразная аппаратура для выделения и изучения высокодисперсных минералов.

Кристаллохимическая природа минералов (по А.С.Поваренных)

Принципиальные изменения в системе минералогического знания, начавшиеся с 30-х годов XX в.,

связаны преимущественно с переходом на новую, конституционную, существенно кристаллохимическую основу. Познание внутреннего строения минералов произвело полный переворот в понимании их химизма, заставило всех мыслить категорией атомов, взаимодействующих друг с другом с помощью различных химических связей неодинаковой природы и прочности, и отказаться от привычных молекулярных представлений. Структурно-конституционная основа минералогии позволила дать строгое объяснение как химическому составу минералов и его динамике на основе изоморфизма элементов, так и всей системе свойств минералов. Характеризуя сущность научной революции в минералогии, один из ее лидеров, активно участвовавших в преобразовании ее системы, А.Е.Ферсман писал в 1935 г.: “Коренную ломку переживает сейчас старая описательная минералогия и из неё самой, из огромного накопленного ею материала, из законов природных кристаллов, ещё недавно бывших просто “*lusus naturae*”, вырастают сейчас новые научные течения, которые врываются в химию, создавая кристаллохимию, и физику, намечая новые законы атомной физики, в геологию, открывая в ней целые области новых химико-геологических явлений”.

Рентгенографическое изучение структур минералов, начатое в 20-х годах XX столетия, оказало огромное влияние на минералогию и подняло знания о природе минералов на новую ступень. Познание структуры как второй стороны единой природы, сущности минерала открыло все особенности этой природы, осветило главные взаимосвязи между составом и строением и позволило, таким образом, вплотную подойти к строгому причинному объяснению морфологии и свойств минералов. К настоящему времени строение большей части минералов уже известно. Несмотря на этот явный успех, некоторые общетеоретические проблемы структурной минералогии (или кристаллохимии минералов) сильно отстали в развитии и не помогают более глубокому познанию природы минералов, столь важному в теоретическом и практическом отношениях.

Первые теоретические построения кристаллохимии были разработаны главным образом на минералогическом материале в 1930-е годы. Причем в основу учения о координации атомов, структурных типах, морфотропных переходах и т. п. был положен примитивно-стерический постулат в виде отношения радиусов атомов и ионов, якобы однозначно определяющий координацию атомов и устойчивость тех или иных структурных типов. Уже вскоре после провозглашения этого принципа было показано, что в данной “теории” больше исключений, чем правил, что она не даёт никакой путеводной нити в лабиринте структур, в особенности сложных по составу минералов.

С исключительным изяществом этот геометрический подход был использован и разработан в 1947 г. Н.В.Беловым в его ставшей широко известной “Синей книге”. Однако причинная взаимосвязь структур, динамика структурных переходов и причины различной координации в ней специально не рассматривались. Они остались неразвитыми, тем более, что Н.В.Белов отлично сознавал, что основные строительные частицы микромира – атомы, ионы и радикалы – не могут быть уподоблены простым инертным шарам или другим фигурам.

Тем не менее, эти простейшие стерические представления благодаря простоте и примитивности глубоко запали в сознание минералогов и стали для них основными на долгое время. Именно эти представления излагаются в большинстве учебных пособий по минералогии и кристаллохимии. С их помощью трудно объяснить природу минералов, и всё разнообразие структурных типов требует автоматического их запоминания.

Известно, что в основе координации атомов и, следовательно, структурных типов соединений лежит не отношение радиусов атомов и ионов, а главным образом прочность межатомных связей, определяемая в общем случае (для бинарных соединений) величиной межатомных расстояний, степенью ковалентности связей и соотношением валентностей различных атомов. Для переходных элементов ведущую роль играет строение электронных оболочек атомов, особенно в существенно ковалентных соединениях, а для структур сложных соединений – также взаимное влияние электроположительных атомов.

Большое значение имеет взаимодействие в структуре разных по силе связей электроположительных атомов. Одни стабилизируют

координацию других. Так, в полевых шпатах и фельдшпатоидах четверная координация алюминия целиком поддерживается слабыми катионами (K, Na, Ca, Ba), усиливающими его кислотные свойства, как, впрочем это наблюдается и в чистых алюминатах этих элементов.

С уменьшением межатомных расстояний координационное число электроположительного атома уменьшается; повышение ковалентности связи препятствует этому. С уменьшением координации атомов наблюдается такая общая тенденция в ассоциации атомных полиэдров друг с другом: грани → ребра → 4 вершины → 2 вершины (каркас) → нет непосредственных связей друг с другом, а только через атомные полиэдры высокой координации (радикалы) → ван-дер-ваальсовские связи между радикалами (молекулы). Знание причин этой кристаллохимической эволюции структур помогает ориентироваться в изменении строения минералов в зависимости от их химизма и оценить структурную роль каждого элемента в их строении.

Другим важным аспектом в структурной минералогии следует считать учение о так называемых структурных мотивах, возникшее ещё в 1940-е годы в результате исследования строения силикатов. Изучение шести структурных мотивов (координационного, каркасного, кольцевого, островного, цепного и слоистого) существенно не только в теоретическом отношении, но и для их морфологии, всех физических свойств и даже генетических условий, поскольку некоторые из этих мотивов имеют очень чётко выраженную привязанность к определённым минералообразующим процессам. В генезисе этих мотивов особое значение имеют определённые химические группы. Так, например, гидроксильные группы или уранильные комплексы способствуют созданию слоистых мотивов, сурьма и висмут в халькогенидных соединениях часто образуют цепные структуры.

Большинство известных химических элементов, за исключением инертных газов и искусственных (трансурановых) актиноидов, входит в состав минералов. По количественным и качественным особенностям они не одинаковы и разделяются на группы. Так, в минералообразующих следует выделять рассеянные (изоморфные) и видообразующие элементы. Первые никогда не являются главными в составе минерального вида, тогда как вторые представляют собой основные его строящие единицы, хотя при известных условиях могут выступать в роли рассеянных. Все видообразующие элементы по степени их участия (а не по среднему содержанию) в составе мине-

ральных видов можно разделить на такие группы: основные, являющиеся составными частями более половины всех видов; главные, участвующие в составе не менее 10 % минеральных видов; ведущие, входящие в состав большого числа (от 50 до 150) видов; редкие, число собственных видов у которых выше 10, но не более 50; очень редкие, дающие менее 10 собственных видов, большинства из которых встречено в двух-трех точках земного шара.

С первого взгляда может показаться, что количество собственных видов у каждого элемента находится в строгом соответствии с его кларком. На самом деле такого соответствия нет, и многие сравнительно малораспространённые элементы, например H, S и особенно Cu, Pb, As, B, U, Sb и др., оказываются продуктивными видообразователями, тогда как элементы со значительно более высокими кларками, например K, C, Ti, Ba, Sr и др., значительно им уступают в этом отношении. Следовательно, степень обособления элементов в природных кристаллических соединениях далеко не одинакова и зависит от многих причин, из которых главную роль играют условия изоморфизма.

Различная качественная роль минералообразующих элементов зависит в первую очередь от их свойств (электроотрицательности, строения электронных оболочек, валентности и др.), обуславливающих химические типы их соединений. Разумеется, существенное значение имеют также и физико-химические условия процессов минералообразования, определяющие преобладание тех или иных возможных для данного элемента устойчивых его соединений.

Первая попытка установления связи между структурой и свойствами составляющих атомов была сделана В.М.Гольдшмидтом в сформулированном им первом законе кристаллохимии. С тех пор он является для многих минералогов единственным отправным пунктом во всех рассуждениях относительно структуры минералов. Опираясь на взгляды В. Косселя об ионной связи между атомами в соединениях с учетом поляризационных явлений, В.М.Гольдшмидт в своём законе постулировал неизменяемость ионных радиусов и решающую роль их отношения в приобретении атомами того или иного координационного числа. При этом, естественно, игнорировались такие важные свойства атомов, как строение электронной оболочки, валентность и электроотрицательность, а также не могли быть учтены влияние атомов в структуре друг на друга и физико-химические параметры T и P.

Современное определение основного закона кристаллохимии может быть сформулировано так. Структура минерала (при постоянных T и P) определяется величиной межатомных расстояний и состоянием ионно-ковалентной связи, соотношением валентностей и относительных количеств различных атомов, строением их наружной электронной оболочки, а в сложных соединениях, кроме того, ещё взаимным влиянием разных электроположительных атомов друг на друга,

Межатомные расстояния, в отличие от так называемых ионных радиусов, являются строго экспериментальной величиной. Они определяют силу взаимодействия атомов, которая обуславливает их координационное число – краеугольный камень структуры любого минерала.

Состояние ионно-ковалентной связи. Доминирующей в минералах является смешанная ионно-ковалентная связь, ковалентная (или ионная) доля в которой может быть определена на основании разности электроотрицательностей составляющих элементов. Электроотрицательность – это энергия притяжения данным атомом валентных электронов при соединении его с другими атомами. Наиболее удовлетворительно она может быть вычислена на основе потенциалов ионизации.

Электроотрицательность (ЭО) зависит от заряда ядра атома, валентности, проявляемой им в соединении, строения его электронной оболочки и степени её завершенности. Именно поэтому величины ЭО закономерно изменяются по группам и периодам таблицы Менделеева,

Влияние состояния связи на структуру минерала заключается в том, что с увеличением ковалентности все большее значение приобретают направленные связи между атомами, соответствующие конфигурации того или иного гибридного типа, приводящие, как правило, к более низкой координации, чем это свойственно атомам в существенно ионном состоянии.

Наружное строение электронной оболочки является чрезвычайно важным фактором в формировании структуры минералов, причём в существенно ковалентных соединениях этот фактор становится главным, решающим. От особенностей строения валентной электронной оболочки зависит число и направление гибридных связей между атомами, при этом небольшим разнообразием валентных конфигураций отличаются атомы некоторых переходных элементов. В существенно

ионных соединениях, где направленных связей нет, фактор строения электронной оболочки, естественно, не проявляется.

Соотношение валентностей противоположных атомов определяет валентный тип соединения, отвечающий, при соответствующих межатомных расстояниях, определённому структурному типу.

Координационным числом (КЧ) данного атома (иона) называется число непосредственно окружающих его других (реже аналогичных) атомов (ионов) в структуре минерала, расстояния между центрами которых и центром окружаемого атома приблизительно одинаковы. Факторы, определяющие КЧ атомов, фактически те же, что и для структуры, поскольку они являются основой, стержнем любой структуры. Главный фактор, определяющий КЧ данного атома, — прочность химической связи его с окружающими атомами, и чем прочнее эта связь, тем меньше величина КЧ. Прочность химической связи зависит от межатомных расстояний, валентности атомов и степени ковалентности связи.

Координационные числа различных атомов в структурах минералов находятся в пределах от 3 до 12. Однако при тех же значениях КЧ формы координационных полиэдров могут быть и другими. Так, для КЧ 4, помимо тетраэдра, известны тетрагональная пирамида с координируемым атомом в вершине, например Pb в PbO, или квадрат, например в PtS. Для КЧ 6, кроме октаэдра, известны также тригональная призма (например, Mo в MoS₂), тригональная пирамида (V⁵⁺ в некоторых ванадатах) и шестиугольник (U в некоторых урановых минералах). Особую форму имеют полиэдры в случаях редких нечётных (как правило, компромиссных) КЧ, например 5 (Ni в миллерите, Cu в азурите, Ti в лампрофиллите и др.) или 7 (Ca в титаните и апатите, Ce и Y в бритолите и т. п.).

В реальных же структурах, особенно сложных по составу минералов, координационные полиэдры всегда в различной степени искажены. Во многих случаях это искажение таково, что среднее арифметическое межатомных расстояний равно “стандартным” значениям идеального полиэдра или очень мало отличается от них.

Под структурой минерала понимают закономерное расположение их в пространстве его атомов или ионов (иногда молекул). Симметрично-тождественное расположение их в пространстве является критерием для определения понятия структурного типа, позволяющего судить о сходстве или различии строения минералов. К одному

структурному типу принадлежат минералы, обладающие одинаковой пространственной группой и аналогичным химическим составом. Наличие второго условия позволяет разделить такие совершенно разные по существу, но одинаковые по пространственным группам симметрии структурные типы, как алмаз и кристобалит, или галит, флюорит и халькит.

Известно, что одни структурные типы минералов обладают сходными чертами, другие сильно разнятся и имеют мало общего между собой. Первой ступенью, объединяющей близкие структурные типы, является структурная группа, которая может быть определена как совокупность структурных типов, обладающих одинаковыми КЧ и валентными отношениями атомов. К одной структурной группе относятся типы сфалерита и вюртита, галита и никелина и т. п.

Следующая более высокая ступень, объединяющая все известные структурные типы в небольшое количество сходных классов, – *структурный мотив*, отражающий самые общие стереические особенности структурных типов. В качестве признака для классификации последних структурный мотив (правда, не под таким названием) был использован с различной степенью полноты А.Ф.Уэллсом, П.Ниггли, Б.Ф.Ормонтом, Ф.Махачки, Г.Б.Бокием.

Структурный мотив отражает пространственное распределение прочнейших связей между атомами в структуре. Следовательно, можно сказать, что одному структурному мотиву принадлежат все структурные типы, обладающие одинаковым способом связи атомов или атомных полиэдров в пространстве.

Существуют шесть структурных мотивов: координационный, каркасный, кольцевой, островной, цепной и слоистый.

Координационный мотив характеризуется равномерным распределением межатомных связей в трёх измерениях, что выражается в наличии у атомных полиэдров значительного числа общих элементов (граней, рёбер, вершин), причём число общих вершин не должно быть меньше трёх.

Каркасный мотив также имеет равномерное распределение прочнейших межатомных связей в пространстве, но общими элементами атомных полиэдров являются здесь преимущественно вершины, причем число последних не должно быть больше двух. Это обуславливает большую рыхлость (каркасность) структурных типов, полости которых могут заполняться дополнительными атомами (ионами).

Форма полиэдров, которые могут строить каркасные постройки – это обычно тетраэдры (SiO_4 , PO_4 , BO_4 , AlO_4 , BeO_4 , MgO_4) или октаэдры (MoO_6 , WO_6 , AlF_6).

Кольцевой мотив сравнительно редок в неорганических соединениях; он характеризуется наличием в структуре атомов (например, S или As и S) или атомных полиэдров (например, SiO_4 , PO_4), прочно связанных между собой в кольца различной конфигурации (трёх-, четырех-, шести- и восьмичленные), между которыми размещаются скрепляющие их атомы с менее прочными связями (а иногда просто остаточные связи, как в структуре сульфурита S_8).

К островному мотиву относятся структурные типы, заключающие радикалы (острова), прочность связи внутри которых значительно выше, чем прочность связи с окружающими атомами. Эти радикалы могут быть простыми и иметь линейную (S_2 , AsS, SbS и т. п.), треугольную (BO_3 , CO_3 , NO_3 и др.), пирамидальную (SeO_3 , FeO_3 , JO_3), тетраэдрическую (SiO_4 , PO_4 , CrO_4 , BF_4 и др.) и октаэдрическую (TiO_2 , ZrO_6 , SiF_6 , AlF_6 и др.) формы или сложными, состоящими из двух полиэдров, например B_2O_5 , Si_2O_7 , V_2O_8 , и более сложных ассоциаций. Сложные радикалы могут рассматриваться как переходное звено к кольцевому структурному мотиву.

Цепной мотив отличается ярко выраженной линейной направленностью прочнейших связей в структуре, т. е. ассоциацией атомов или атомных полиэдров только в одном измерении. Такими полиэдрами могут быть треугольники (BO_3), тригональные пирамиды (AsO_3 , SbO_3 , PbO_3 , SnO_3 и др.), тетраэдры (SiO_4 , BO_4 , Po_4 и др.) и октаэдры (TiO_6 , ZrO_6 , SnO_6 , MnO_6 , FeO_6 и др.). Цепи бывают простыми или двойными.

Слоистый мотив характеризуется двухмерным распределением прочнейших связей в структуре, т. е. ассоциацией атомов или атомных полиэдров в плоскости. Сетки могут состоять из отдельных атомов или из полиэдров треугольного, пирамидального, тетраэдрического, октаэдрического и призматического типов. В поперечном сечении слои могут быть простыми, состоящими из одной сетки атомов, как в графите или сассолине, тройными, подобно слоям в структурах брусита, пятерными, как в каолине, и ещё более сложными, как в тальке, слюдах.

В большинстве случаев в цепных, слоистых и каркасных минералах составляющие полиэдры одинаковы по форме, и, следовательно,

эти минералы обладают гомогенными структурными мотивами. Но существуют минералы, в структуре которых эти мотивы представлены полиэдрами различной формы. Такие мотивы, также имеющие важное значение в некоторых классах минералов, называются гетерогенными,

С уменьшением межатомных расстояний координация атомов скачкообразно уменьшается, валентная насыщенность атомных полиэдров растёт, а вместе с ними изменяется и способ ассоциации полиэдров друг с другом. На смену граням связующими элементами становятся рёбра, а затем вершины полиэдров. Связующими являются сначала четыре, потом три и, наконец, две вершины. В этом направлении координационные структуры сменяются каркасными, но только для полиэдров октаэдрического или тетраэдрического типов. С переходом к тригональным пирамидам, а тем более к плоским атомным ассоциациям, возможности образования каркасных структур резко уменьшаются и возникают слоистые и цепные структуры, широко распространённые в соединениях.

Минералы во времени и пространстве

Характернейшей чертой современного мышления минералога является взгляд на мир минералов как на находящийся в динамике и развитии. Взаимодействиями минерала и геологической

среды, последовательностью событий в истории минералов и минеральных ассоциаций занимается генетическая минералогия, выявляющая прямые и косвенные признаки этих взаимодействий, причинную зависимость появления отдельных свойств минералов с изменением параметров минералообразующих процессов. Генетическая минералогия – система знаний о происхождении, условиях образования и изменения минералов и минеральных ассоциаций.

Основополагающими в генетической минералогии стали идеи В.И.Вернадского и А.Е.Ферсмана о минералах как продуктах природных процессов, протекающих в земной коре и управляемых геологическими факторами. В этих представлениях нашли выражение мысли, высказывавшиеся предыдущими поколениями минералогов и геологов: М.В.Ломоносовым, А.Г.Вернером, В.М.Севергиным,

А.Брейтгауптом, Д.И.Соколовым, А.Л.Ловецким, Н.И.Кокшаровым, Р.Браунсом и др. Проникновение в минералогию идей о развитии и генезисе, определялось её положением в системе геологических наук, традиционно рассматривавших многие вопросы с генетических позиций.

Минералообразующие процессы анализировались в органической связи с геологической обстановкой и её эволюцией как следствие развития геологических систем (магматических очагов, гидротермальных систем, солеродных бассейнов и т.п.), содержащих минералы в качестве элементов их структуры или являющихся потенциально минералообразующими. Следовательно, геологические процессы рассматривались как движущие силы минералогенезиса. Как отмечал А.В.Сидоренко (1964), такой подход направлен на “геологизацию” минералогического знания, что в целом является прогрессивной тенденцией развития современной минералогии. Однако вместе с тем генетические интерпретации объектов минералогии содержат общие недостатки генетического подхода в геологических науках, вскрытые методологами. Минералу часто присваивают эпитеты “магматический”, “гидротермальный” и т.п. по месторождению или горной породе, в которую он входит как элемент структуры, что часто не прибавляет положительной информации, а ведёт лишь к её перекодировке и заблуждениям.

В современной минералогии геогенетической интерпретации её объектов, как правило, недостаточно. В генетической минералогии широко используются модели физической химии и физического знания. Минерал рассматривается как продукт химических реакций, протекающих в земной коре или, по образному выражению А.С.Уклонского, как “станция на пути движения атомов”. Физико-химическое моделирование, обоснованное трудами Д.С.Коржинского, В.А.Николаева, В.А.Жарикова, А.А.Маракушева, Л.Л.Перчука, В.В.Доливо-Добровольского и др., открыло новые пути для приложения к минералогическим исследованиям методов физической химии, вооружило минералогию парагенетическим анализом, специально предназначенным для исследования устойчивости и развития сообществ минералов в зависимости от термодинамических условий и химического состава среды существования. Тем самым открылась возможность аналитического подхода к процессам минералообразования, селективного изучения всех его существенных факторов.

Широкое использование в минералогии модельного эксперимента и разработка методов промышленного синтеза минералов позволили подойти к раскрытию закономерностей формирования минерала как твёрдого кристаллического тела, интерпретации его с позиций физики твёрдого тела.

Всё более определённо намечаются контуры некоторых самостоятельных направлений в генетической минералогии, хотя пока невозможно провести чёткие границы между ними. Д.П.Григорьев рассматривает три направления в изучении генезиса минералов: онтогенетическое (изучение зарождения, роста и изменения минеральных индивидов и агрегатов), филогенетическое (физико-химический механизм генезиса) и геологическое (геологический процесс минералообразования). По его же мнению, эти типы исследования должны проводиться на широкой основе изучения проявлений взаимодействия минерала и среды.

Методологическое ядро генетической минералогии определяют такие генеральные её задачи: исследование причин и механизмов образования минералов и условий их существования (т.е. установление структурных, конституционных закономерностей минералообразования), установление временных закономерностей минералообразования, выявление пространственных его закономерностей. В соответствии с этими задачами выделяют такие основные направления генетической минералогии: экологическое, изучающее взаимосвязи минерала и минералообразующей среды, причины и механизмы образования и существования минералов; историческое, раскрывающее историю минерального мира в связи с геологической историей; эволюционное, выявляющее закономерности развития минеральных индивидов (онтогенеза минералов) и минеральных видов (филогенеза минералов); динамическое (геогенетическое), исследующее минералогенетические аспекты геологических процессов (Юшкин, 1977).

Изменяясь под действием внешних и внутренних факторов, минералогическая система (например, магматический расплав, гидротермальный раствор, метаморфизируемая порода и т.д.) при определённых условиях распадается на систему минерала и среды, взаимосвязь которых полностью определяет генезис минерала. Характер этих взаимосвязей может быть энергетическим (обмен энергией), вещественным (поступление вещества из среды в минеральный индивид и его рост или наоборот – удаление вещества в среду и разрушение

индивида), информационным (передача особенностей структурной организации вещества и энергии от среды к минералу и обратно).

Из множества взаимосвязей минералов и среды современная минералогия акцентирует главное внимание на изучении термодинамических и физико-химических параметров, играющих действительно существенную роль в жизни минерала. Однако всё более настоятельным становится целостный подход к минералу как системе, способный учесть множество новых данных, например, влияние ударных волн, космического излучения, гравитации на минералообразование.

Существенное значение для современной минералогии имеет разработка так называемого принципа Кюри, предпринятая на основе общих идей В.И.Вернадского и И.И.Шафрановским и его последователями. Согласно этому принципу проникновение в сущность какого-либо природного объекта невозможно без учёта особенностей породившей его среды. В применении к анализу природы минералов принцип Кюри позволяет на основе знания о симметрии среды и собственной симметрии объекта определить вынужденную симметрию последнего. Тем самым в понимание объектов геологии и минералогии вносится элемент динамичности, процессуальности, что особенно важно при решении генетических проблем. Важно распространить значение этого принципа не только на объяснение причин формообразования, но перейти к динамической симметрии минералогических систем, анализируя их в развитии, во взаимодействии среды и минерала. Пока внимание акцентируется главным образом на воздействии среды на минерал, но и последний активно влияет на среду, перестраивая в процессе роста структуру раствора. Поэтому при изучении экологии минерала важно учитывать весь комплекс взаимодействий и выявлять их механизм.

По аналогии с исторической геологией, накопившей огромный фактический материал по истории развития земной коры, решение таких задач актуально и для минералогии, также стремящейся установить, чем отличается минеральный мир одних геологических эпох от других, как он изменялся в геологической истории. На базе такого материала можно было бы вывести исторические закономерности развития мира минералов и наметить этапы минерального видообразования. Эволюция минералогенетических систем в общем виде систематизирована исторической геологией. Отталкиваясь от этих общих

схем, возможно предсказать характер изменения минерального мира в истории Земли. Минералогенезис – составная часть геологических процессов – осуществляется в тесной связи с ними, геологические факторы существенно влияют на его ход. Базисом для такого геогенетического реконструирования должно стать исследование процессов современного минералообразования, всех типов процессов – от вулканических до гипергенных. Здесь, как и в других геологических науках, применяющих исторический метод, важно начать работы на естественных полигонах, в данном случае на постоянно действующих стационарах. Именно природные модели в сочетании с модельным экспериментом способны составить фундамент для минералогических построений.

Известно, что минеральные тела могут быть сложены агрегатами или индивидами, сформировавшимися в разное время, в разные геологические эпохи. Группы минералов, образованные в пределах минералогических объектов в разное время, получили название формаций, минеральных комплексов, генераций и парагенезисов. Последний термин наиболее распространён. Он был введён в науку в 1849 г. А.Брейтгауптом, который понимал под парагенезисом минералов более или менее чётко выраженное совместное нахождение минералов или их ассоциаций, придавая большое значение их возрастным соотношениям. Понятие парагенезиса прошло длительную эволюцию и в последние десятилетия приобрело двойное толкование. Под парагенезисом стали понимать не только явления совместного нахождения минералов и последовательность их отложения, но также группу одновременно образовавшихся минералов. Последнюю правильнее было бы назвать генерацией.

Учение о парагенезисе минералов ставит главной задачей выяснение законов и причин совместной локализации (сонахождения) и последовательности образования минералов на основе изучения совокупности онтогенетических (физических, кристаллографических) и филогенетических (химических и геологических) взаимоотношений минеральных индивидов и агрегатов. Общая программа парагенетического анализа, как показал Ю.М. Дымков, включает решение целого комплекса задач: определение границ и состава минеральной ассоциации и места в ней каждого минерала; определение последовательности образования минералов на основе изучения текстур и структур полиминеральных агрегатов; установление парагенетических координат

минерала и взаимодействий минералов и ассоциации на протяжении истории, а также взаимодействий между минеральной ассоциацией, минералом и средой; реконструкция способа образования минералов (путём агрегации частиц, кристаллизации, диффузии, распада и т.д.) и состояния среды кристаллизации (из раствора, геля, расплава, в твёрдой фазе и т.д.); корреляция истории образования минеральной ассоциации (минерала) с геологической историей развития минерального тела или более крупных объектов, в пределах которых изучается парагенезис; выявление этапов и эпох минералообразования.

Парагенетическое исследование обращено на изучение объектов, которые представляют собой целостные системы. Таковы, например, гидротермальные жилы. Минеральный состав и текстуры жильного выполнения отражают все процессы тектонического и метасоматического порядка, происходящие в системе в целом. Учение о парагенезисе непосредственно смыкается с другими направлениями минералогии: онтогензией и филогензией минералов, топоминералогией, геогенетическим и экологическим исследованиями.

Интенсивно развивается эволюционный подход к генезису минералов с его двумя ветвями — *онтогензией* (учением об индивидуальном развитии минеральных индивидов и агрегатов) и *филогензией* (учением о генезисе и эволюции минеральных видов, парагенезисов, ассоциаций). Значительный прогресс достигнут в онтологии минералов, развитие которой совпало со смещением интереса в минералогии от идеализированной модели к реальному минералу. Последнее событие было расценено Н.В.Беловым как “новая революция в минералогии”. При онтогенетическом исследовании рассматриваются этапы индивидуального развития минерала: зарождение → рост → изменение → уничтожение индивидов. Онтогенез минералов пока разрабатывается главным образом на основе морфологии и анатомии индивидов, значительно меньше внимания уделяется эволюции кристаллической структуры и свойств минералов. Учение об онтогенезе минералов призвано разработать критерии последовательности образования минералов, что чрезвычайно важно для самой минералогии и для смежных наук. Оно имеет также реальное практическое значение.

Филогения минералов существует пока только в программном виде. Её разработку тормозит отсутствие упорядоченной системы знаний о минеральном виде и недостаточная разработка исторической минералогии как фактографической основы для реконструирования

процессов эволюции. Начальный этап в разработке этого направления – рассмотрение в динамике тех минеральных видов, которые хорошо изучены в статике, – кварца, хлоритов, гранатов, пироксенов, эпидота и др., применяя кристаллохимический анализ процессов минералообразования.

Важным направлением современной минералогии является топоминералогическое, изучающее закономерности происхождения и распределения минералов в геологических объектах. Топоминералогия рассматривает минералы в их природном геологическом окружении. Устанавливая закономерности образования и распределения минералов в структуре геологических регионов, топоминералогические исследования выступают основой для разработки прогнозов рудоносности и надёжных методов поисков и оценки месторождений полезных ископаемых.

Топоминералогические сводки по различным регионам, преимущественно европейским, начали составляться с конца XVII в. Российская топоминералогия ведет начало от работы М.В.Ломоносова над “Минеральным каталогом” Кунсткамеры Академии наук. М.В.Ломоносов задумал создать “Российскую минералогию”. Более 120 казённых и частных горных заводов со всей России прислали ему образцы горных пород и руд, но смерть великого учёного помешала осуществить этот грандиозный проект. Огромный материал для топоминералогического описания России представили экспедиционные исследования многих натуралистов второй половины XVIII в.: И.Лемана, Э.Лаксмана, С.Крашенинникова, П.Рычкова, И. и С.Гмелиных, П.Палласа, И.Георги, И.Лепёхина и др., а позднее крупнейшие сводки В.М.Севергина и Н.И.Кокшарова.

В начале XX века фундаментальным топоминералогическим обобщением могла бы стать работа В.И.Вернадского “Опыт описательной минералогии”, публиковавшаяся в 1912-1922 гг., но не доведенная до конца. Становление топоминералогии как самостоятельного направления связано с вышедшей в 1922 г. книгой А.Е.Ферсмана “Геохимия России”, в которой наряду с общим топоминералогическим очерком впервые рассматривались методы и типы исследования в этой области. А.Е.Ферсман видел смысл топоминералогического исследования в изучении триады “минерал – процесс – элемент” и определил три главных задачи: описание минералов, выяснение распространения и роли отдельных химических

элементов, изучение происхождения и образования минералов. Делая акцент на химической природе минерала, Ферсман отвлекался от его физической сущности.

Труды В.И.Вернадского и А.Е.Ферсмана, содержавшие важные методические разработки, стимулировали интенсивное развитие топоминералогических исследований в СССР. В результате минералогами были выделены интересные и хорошо изученные в минералогическом отношении регионы и провинции: Кольский полуостров, Урал, Украинский щит, Узбекистан, Алтай. В последние десятилетия изучаются все новые объекты топоминералогии.

Общим методом топоминералогических исследований является минералогическое картирование, осуществляемое на основе кондиционной геологической карты. Этот метод создаёт надёжную основу для выявления пространственных и временных закономерностей минералообразования.

Задачи топоминералогического исследования разнообразны. Прежде всего важно составить полное представление о минеральном составе геологических объектов данного региона – минералогический его кадастр. Благодаря этому определяется минералогическая специфика региона. Например, в России были выделены такие уникальные в минералогическом отношении районы, как Хибинский и Ловозерский щелочные массивы на Кольском полуострове, в которых известны более 300 минералов; Ильменские и Вишнёвые горы на Урале с почти 200 минералами.

На базе минералогического картирования решаются задачи выделения пространственных и пространственно-временных ассоциаций минералов путём изучения взаимоотношений между ними и восстановления кристаллизационной истории минеральных тел. Карта минеральных ассоциаций, отображающая их структуру, пространственные и временные соотношения, служит моделью, с помощью которой анализ минеральных сообществ увязывается с геологическим строением района.

В рамках топоминералогии решаются также задачи установления эволюции процессов минералообразования в связи с геологической историей региона. Прежде всего реконструируются результаты минералогических процессов. Затем осуществляется реконструкция динамики минералообразования, скоррелированная с динамикой геологических процессов.

Топоминералогические исследования имеют большое практическое значение, так как они связаны с прогнозированием при поисках ценных минералов и руд. Продолжает оставаться актуальной задача создания специального минералогического метода поисков месторождений полезных ископаемых, осуществляемого на базе методов топоминералогии.

Резервы прогресса

Для современной минералогии, как и для многих других естественных наук, огромное значение приобрёл структурный подход к её объектам – так называемая консти-

туционная революция, которая подняла исследование минерального вещества на принципиально новый уровень и фактически преобразовала всю систему минералогического исследования. Лежащая в основе конституции минералов идея о единстве химического состава и кристаллической структуры создаёт реальную основу дальнейшего прогресса теории и практики минералогии. Главнейшую роль при этом играют кристаллохимические закономерности, позволяющие предсказать и объяснить основные свойства минералов.

Проблема взаимосвязи и взаимообусловленности состава и строения минералов как поддающаяся экспериментальной проверке возникла недавно, фактически во второй четверти XX столетия, после того как с помощью рентгенографического метода анализа стало возможным непосредственное определение пространственного положения атомов, строящих кристалл. До этого времени минералоги в своих суждениях пользовались гипотетическими представлениями, основанными на молекулярной теории, разработанной во второй половине XIX века. А ещё раньше химический состав сопоставлялся только с внешней кристаллографической формой минералов и их свойствами – наиболее хорошо изученными атрибутами минеральной материи.

Сравнительно долгий исторический путь развития познания внешних признаков минералов и более глубоких сторон их природы, завершившийся в конце концов понятием конституции – как единства состава и структуры – наложил определённый отпечаток на понимание соотношения и взаимообусловленности обеих сторон сущности минерала. Это – чёткие представления об особенностях взаимосвязи

состава и строения минералов, следствием чего оказываются неполными знания о минеральном виде, о возникновении и развитии минеральных видов, о генезисе и свойствах минеральных индивидов. Очень важная роль структуры, заключающаяся в ограничении произвольной изменчивости состава минеральных видов и прямом влиянии на все их свойства, морфологию и даже генезис, всё ещё недостаточно осознается минералогами. Примат состава над строением и влияние первого на второе часто преувеличиваются, а значение структуры в этом тесном, но противоречивом единстве нередко принижается, что проявляется в слабой и односторонней разработке закономерностей строения кристаллического вещества.

Важный практический интерес имеет вопрос познания свойств минералов, общие закономерности которых вытекают из взаимосвязанных состава и структуры и могут быть познаны только на основе полного раскрытия этой взаимосвязи, выявления всех существенных её сторон.

Биоминералогия

Биоминералогия – учение о преобразовании минералов, протекающем в геологической среде с разнообразным участием живых организмов. Минералы находятся не только в недрах Зем-

ли, но и во всём живом на планете, включая человека. В результате биоминеральных взаимодействий за 3,8 миллиарда лет геологической истории Земли образовалось около 2% земной коры, и в настоящее время известно около 300 биоминералов.

Ещё в начале XX в. весьма существенный вклад в разработку проблем биоминералогии внёс ученик В.И.Вернадского, профессор Московского сельскохозяйственного института и Московского университета Я.В.Самойлов. Исследования месторождений барита, целестина, фосфоритов, кремнистых пород, железо-марганцевых и медных руд привели Я.В.Самойлова к убеждению, что они могли образоваться только при активном участии организмов, что шло в разрез доминировавшим тогда представлениям об образовании этих минералов и горных пород абиогенным путём. Я.В.Самойлов считал, что их месторождения созданы в результате жизнедеятельности организмов. Генезис морских осадочных отложений, по его мнению, можно понять лишь при учёте биохимических и физиологических

особенностей ископаемых организмов, которые были способны концентрировать их в больших количествах.

К проблеме участия организмов в образовании минералов и горных пород Я.В.Самойлов обратился еще в 1906 г. в своей докторской диссертации. Примерно в это же время проблема геологического значения живого вещества привлекла внимание В.И.Вернадского, хотя их подходы и выводы вовсе не совпадали. Д.И.Гордеев писал об этом: “Биогеохимические идеи Я.В.Самойлов развивал не на уровне биосферы, как В.И.Вернадский, а на уровне минералов, показывая процессы их образования как следствие жизнедеятельности организмов. Он искал проявления эволюции за геологическое время в химическом составе организмов, особенно в их скелетной части. . . В 1910-1912 гг. в ряде статей о баритах Я.В.Самойлов высказал мысль о возможной эволюции скелетной части организмов, а следовательно и о стратиграфическом значении минералов, вещества скелетов, о роли минералов в качестве “руководящих ископаемых”, наряду с руководящими ископаемыми организмами. В 1913 г. Я.В.Самойлов высказывал идеи об эволюции уже не только скелетных частей организмов, но и крови, в которой функцию железа на разной стадии эволюции могли выполнять такие элементы, как медь, ванадий и др.”²⁴.

Согласно Я.В.Самойлову, концентрация в осадочных породах редких металлов скорее всего обусловлена жизнедеятельностью морских организмов, способных накапливать эти металлы. Он полагал, что для понимания концентрационных функций биосферы необходимо знать точно химический состав организмов, и прежде всего их скелетных образований. Такого рода исследованиями наука того времени ещё не занималась. Я.В.Самойлов стремился выявить механизм превращения остатков организмов в минералы и горные породы.

Я.В.Самойлов доказал необходимость создания новой науки “палеофизиологии”, в современном понимании – палеобиогеохимии, занимающейся изучением особенностей биогеохимической деятельности организмов в прошедшие геологические эпохи. Вместе с В.И.Вернадским Я.В.Самойлов заложил основы учения о биолитах. Вклад в формулирование и разработку проблем палеобиохимии

²⁴ Гордеев Д.И. Яков Владимирович Самойлов – один из основоположников биогеохимии // Яков Владимирович Самойлов, минералог и биогеохимик. – М.: Наука, 1974. – С. 17.

оказался особенно значимым в перспективе последующего развития науки²⁵.

В 1910 г. Я.В.Самойлов обратил внимание на то, что крупные запасы барита, как правило, приурочены к ярусам верхней юры. Это навело его на мысль, что в отдельных регионах биосферы того периода существовали организмы, содержащие в своих раковинах барий и способствовавшие тем самым аккумуляции стойких соединений бария (его сульфатов) в виде конкреций. В случае справедливости этого предположения изучение месторождений барита могло привести к открытию специфической ископаемой группы, содержащей барий в значительных количествах. Тогда эту гипотезу ещё нельзя было подтвердить конкретными данными.

В 1912 г. Я.В.Самойлов четко формулирует гипотезу, согласно которой крупные месторождения металлов, содержащихся в морской воде в ничтожных количествах, могли создаваться только в результате осуществления концентрационных функций. Он считал неправильным при изучении ископаемых ограничиваться лишь морфологическими признаками. Необходимо выявлять и особенности физиологических процессов, а следовательно, и эволюцию химических соединений, участвующих в этих процессах. Он ставил вопрос о том, всегда ли в биосфере существовали те же соотношения между животными, содержащими в крови гемоглобин или гемоцианин, как и в современной биосфере. Если в прошлом эти соотношения были иными, то не в этом ли кроются причины образования мощных месторождений меди в пермских отложениях? Подобные месторождения могли быть созданы доминирующими в перми организмами, у которых функцию переноса кислорода в крови выполняли молекулы гемоцианина, содержащего медь вместо железа. И наличие ванадия в крови у асцидий Я.В.Самойлов также использовал для объяснения повышенных содержаний этого элемента в ряде осадочных пород. Опираясь на эти данные и предположения, Я.В.Самойлов в 1912 г. формулирует вывод, важный для изучения биогеохимических функций палеобиосфер: если принять, что различные организмы с указанными характерными своеобразными особенностями, являющиеся в настоящее время относительно более редкими, в отдалённые

²⁵ Колчинский Э.И. Эволюция биосферы: Историко-критические очерки исследований в СССР. – Л.: Наука, 1990. – С. 96-103.

периоды истории Земли количественно преобладали, представляли собой обычные, распространённые группы животных, будет ясно, какое значение может иметь детальное изучение всех этих соотношений в деле правильного объяснения генезиса различных минералов, заключённых в осадочных породах.

В последующие годы Я.В.Самойлов публикует ряд статей, в которых далее углубляет этот вывод и подкрепляет его новыми доказательствами. Так, широкое распространение плавикового шпата в известняках московского яруса карбона он объяснял наличием в это время фторсодержащих организмов, подобных некоторым современным видам плеченогих, пресноводных и морских моллюсков. Приурочённость фтора к фосфоритам метасоматического типа, по мнению Я.В.Самойлова, могла быть вызвана сильным развитием в соответствующий геологический период животных с повышенным содержанием фтора, как это установлено у роговых губок и некоторых кораллов. Высокое содержание в известняках сульфата кальция также связано с распространением определённых групп беспозвоночных. Эти и другие данные побуждали искать связь преобразований морфологических и биохимических признаков и выяснять адаптивное значение различий в химическом составе скелетов близкородственных организмов.

Я.В.Самойлов полагал, что если бы качественно и количественно химический состав скелетов был бы во все геологические времена одинаков, то и первоначальный химический состав осадочных пород – биолитов, откладывающихся в одинаковых физико-географических условиях в течение всей истории Земли, был бы неизменным. В первоначальном составе биолитов неизбежно отражалось количественное соотношение организмов со скелетами различного химического состава.

Широкой программой исследования эволюции биогеохимических функций биосферы стала классическая статья Я.В.Самойлова “Биолиты”, опубликованная в 1921 г. В ней систематизированы все ранее приводимые данные и гипотезы об изменении концентрационных функций биосферы в связи с эволюцией химического состава организмов. Для изучения этого процесса было необходимо: искать ископаемые организмы со специфическим химическим составом и специфическими биогеохимическими функциями, не встречающиеся в современной биосфере, а также выяснить количественные

соотношения в прошлых биосферах групп организмов с различным химическим составом и изучать изменения этих соотношений в ходе органической эволюции.

Я.В.Самойлов обосновал важную мысль о том, что при отсутствии фоссилизированных остатков изучение химического состава биолитов и закономерностей их образования является надёжным способом для реконструкции геохимических функций вымерших организмов. Годом позже в статье, опубликованной на немецком языке, Я.В.Самойлов приводит данные исследований железо-марганцевых конкреций со дна Чёрного, Балтийского и Баренцева морей. Образование этих пород, по мнению Я.В.Самойлова, могли происходить в результате деятельности бактерий.

В своих последних выступлениях и статьях Я.В.Самойлов старался далее развить высказанные им теоретические положения и наметить пути их проверки. В докладе, прочитанном 19 февраля 1922 г. на торжественном заседании в честь 75-летия со дня рождения А.П.Карпинского, он остановился на вопросе об эволюции минерального состава скелетов. Кремниевая функция, по мнению Я.В.Самойлова, более древняя, чем кальциевая. Организмы, обладающие кремниевым скелетом, не продвинулись дальше губок среди животных и диатомовых водорослей среди растений. У более сложных организмов ведущая роль в образовании скелетов принадлежит кальцию. Но и здесь есть определённая закономерность в эволюции скелета. Если у беспозвоночных он преимущественно сложен из углекислого кальция, то у позвоночных в скелете доминирует фосфат кальция и лишь отдельные части скелета формируются из карбонатов. Я.В.Самойлов попытался объяснить причины более раннего появления организмов с сильно развитой кремниевой функцией, положив начало тем самым идущим и по сей день спорам о причинах внезапного усиления кальциевой функции биосферы на границе протерозоя и палеозоя. Он высказал гипотезу, не получившую, правда, признания, о том, что подобная последовательность в эволюции кремниевых и кальциевых скелетов объясняется химическими свойствами Si и Ca и их распространением в земной коре. Преимущественное использование вначале кремния связано с тем, что этот элемент занимает второе место после кислорода по распространённости в биосфере. Кальций – только пятое. Натрий и калий, находящиеся между кремнием и

кальцием в этом ряду, образуют растворимые соли и поэтому не могли быть промежуточным звеном при переходе от кремниевых скелетов к кальциевым. Таким образом, по мнению Я.В.Самойлова, жизнь вначале использовала более доступный элемент, а затем перешла к утилизации элемента, способного образовывать более эффективные в структурном и функциональном отношении скелеты. Аналогичную закономерность он усматривал и в эволюции кальциевого скелета. Здесь древнейшие группы использовали более распространенный элемент углерод, а более прогрессивные животные – менее распространенный фосфор.

Опираясь на эти данные и соображения, Я.В.Самойлов допускал даже возможность существования древней жизни на кремниевой основе. Хотя в последующем было доказано, что кремний в силу ряда своих химических свойств в принципе не может быть носителем жизни, подмеченный Я.В. Самойловым факт более мощного развития кремниевой функции в древних биосферах не раз впоследствии использовался в работах, в которых рассматривались вопросы о геохимической эволюции поверхностных оболочек Земли. Современные данные в целом подтверждают вывод Я.В.Самойлова о том, что в ходе прогрессивной эволюции доля кремния в составе организмов уменьшается. Вполне возможно, что именно организмы, способные разрушать силикаты и алюмосиликаты, переработали силикатный покров Земли в почву и тем самым создали условия для организмов, у которых сильное развитие получила кальциевая и фосфорная функции.

Как отмечает Э.И.Колчинский, в свете современных знаний о трофических цепях интересна гипотеза Я.В.Самойлова о том, что химический элементный состав животных в значительной степени предопределяется потребляемыми ими растениями. Растения являются в этом отношении промежуточным звеном между животными и внешней средой. Осуществление концентрационных функций биосферы распадается на два этапа. Вначале рассеянные в биосфере элементы поглощаются растениями из почвы и водных растворов, а затем уже аккумулируются в теле животных. Эта гипотеза Я.В.Самойлова вполне согласуется с представлениями о повышении концентрации металлов при переходе от низших звеньев в трофических цепях к высшим. Учитывая двухступенчатый характер аккумуляции орга-

низмами химических элементов, становится понятным тот факт, что у гетеротрофов концентрация таких элементов, как натрий, кальций, фосфор, хлор, цинк и т. д., значительно выше, чем у автотрофов. Вполне возможно, что усложнение трофической структуры биосферы способствовало усилению концентрационных функций.

Предложенный Я.В.Самойловым палеобиогеохимический подход к изучению концентрационных функций биосферы открыл новый путь в познании эволюции жизни. Исследование химического состава биолитов позволяло в принципе открывать группы организмов, которые в силу различных причин не оставили никаких следов в палеонтологической летописи. В связи с этим особое значение приобретает совместное изучение морфологической и химической эволюции, построенное на комплексном применении актуалистических и историко-сравнительных методов. На их основе вырабатывалась более полная характеристика той жизни, которая отвечает каждой геологической эпохе.

Имеющиеся тогда данные заставляли ограничиваться только самой постановкой вопроса. Суть поднятой Я.В.Самойловым проблемы заключалась в том, что не только известняки и горючие ископаемые, но и другие осадочные породы образуются на границе литосферы и биосферы при непосредственном, а иногда и решающем участии организмов и продуктов их жизнедеятельности. Многие из этих организмов сейчас или исчезли с лица Земли, или занимают в экономике биосферы незначительное место. Но выяснение конкретного механизма образования органогенных минералов оставалось задачей будущего. На долю Я.В.Самойлова выпала миссия лишь обосновать значение палеобиогеохимии для познания биосфер прошлого. Он не успел полностью обработать даже собранный им и его сотрудниками материал и завершить начатые в этом направлении исследования.

Исследования Я.В.Самойлова были впоследствии продолжены в многочисленных работах отечественных и зарубежных ученых. Изучался химический состав ископаемых организмов и различных продуктов их жизнедеятельности, анализировались закономерности преобразования органического вещества в различных геологических процессах (седиментогенез, образование полезных ископаемых и т.д.). Особое внимание уделялось роли органического вещества в концентрации и миграции химических элементов.

К настоящему времени полностью подтверждено предположение Я.В.Самойлова о способности живого вещества концентрировать в больших количествах элементы из разбавленного раствора. Благодаря интенсивному белковому обмену животные в окружающую среду выделяют огромные количества веществ, содержащих фосфор и азот. Значительно расширено и число минералов, в образовании которых участвуют организмы. Сравнительные исследования химического состава различных групп современных организмов, каждая из которых может рассматриваться как представитель определённого этапа в истории биосферы, остаётся по-прежнему главным методом изучения эволюции биогеохимических функций биосферы. Этот способ стал доминирующим в последующем изучении эволюции концентрационных функций биосферы в трудах В.И.Вернадского, А.П.Виноградова и др.

Оценивая вклад Я.В.Самойлова в разработку проблем палеобиогеохимии, В.И.Вернадский писал в 1940 г., что Я.В.Самойлов первым пошёл по пути изучения геологической роли органического мира и выдвинул в связи с этим ряд новых проблем, которые были “поставлены и сведены к мере и числу”.

Среди существующих на Земле организмов много таких, которые обладают твёрдыми тканями либо в виде костного скелета (позвоночные), либо в виде раковины (моллюски). Скелеты и ракушки представляют собой сложный композит минеральных и органических веществ. Эти материалы, содержащие в своем составе те или иные минералы, уникальны по своим свойствам.

Неорганических веществ, накапливаемых в значительных количествах живыми организмами, не так много. К ним относятся: карбонат кальция – из него состоят кораллы и ракушки подавляющего большинства моллюсков; оксалат кальция, встречающийся в растениях, а также у млекопитающих (например, в составе камней, образующихся в почках); кремнезём, из которого образованы скелеты большинства морских одноклеточных организмов, в частности радиолярий; сульфаты щёлочноземельных металлов (встречаются в некоторых растениях и медузах); оксиды железа (присутствуют в бактериях, моллюсках, некоторых растениях) и, наконец, фосфаты кальция – основной строительный материал костей и зубов всех позвоночных животных.

За последние годы в связи с ухудшением экологической обстановки в крупных промышленных мегаполисах существенно возрос интерес к изучению патогенных биоминералов и условий их образования. Обычно исследователи патогенных минералов ограничиваются описанием их морфологии, минерального и элементного состава. Механизмы образования и роста кристаллических фаз в организме человека, связанные со сложным взаимодействием живого и косного вещества, пока изучены недостаточно. Трудности изучения патогенного минералообразования обусловлены в сложным вещественным и элементным составом камней, которые содержат как минеральную (часто очень плохо окристаллизованную), так и органическую компоненты, которые очень трудно разделить.

Ныне доминирует утверждение, согласно которому все возникшие в организмах либо при их участии неорганические и органические фазы кристаллического строения следует относить к биоминералам. К объектам биоминералогии относят органоминеральные агрегаты, возникшие в биосфере и созданные в живом организме при его участии или в результате замещения отмершего органического вещества минеральным. Формирование таких образований происходит в процессах обмена веществ в организмах, путём свободного отложения вещества из водных систем, при реакциях различных выбросов организма с окружающей средой, а также при преобразованиях отмершего органического вещества. По данным Н.П.Юшкина, известно около 300 биоминералов различного происхождения, и их число продолжает расти²⁶. Патогенные биоминералы являются “болезнями” организма. К ним относятся камни мочевой системы, жёлчного пузыря, зубные и слюнные камни и некоторые другие. Возникновение патогенных биоминералов является следствием нарушения функционирования самых различных органов и систем.

А.И.Жабин указал на такие факты и проблемы биоминерализации, которые привлекают внимание исследователей и определяют направления исследований: возникновение, зарождение жизни на минералах, биогенные комплексы металлов, активирование биологических процессов минералами, вулканы и жизнь, формирование биолитов, эволюция литосферы; биологическое, главным образом

²⁶ Юшкин Н.П. Биоминеральные взаимодействия. – М.: Наука, 2002. – 60 с.

бактериальное, стимулирование минералообразования, в том числе и рудообразования; роль тионовых бактерий в миграции редких элементов и золота; полные биогеохимические циклы элементов, изотопные аномалии в связи с биоминералообразованием; минералообразование в растениях и организмах животных и человека: скелеты моллюсков, радиолярии, кораллы, зубы, костный скелет, почечные камни и т.д. Впечатляющим примером биохимической реакции является процесс, идущий в огромных масштабах в зоне гипергенеза, в морях и океанах и заключающийся в восстановлении сульфатной серы до сероводорода. Он целиком обусловлен жизнедеятельностью сульфатредуцирующих бактерий.

Из минералоподобных веществ в организме человека главными являются фосфаты. Кости человека среднего возраста состоят приблизительно на 70% из фосфата кальция, на 30% – из органического вещества. Фосфат кальция либо аморфен, либо образует мельчайшие призматические кристаллы длиной до 100 нм. Органическое вещество костной ткани – это различные коллагены, жиры, мукопротеины и другие соединения. Вместе с органическим веществом такие кристаллы слагают, выстраиваясь цепочкой, волокна костной ткани. У новорожденных и детей часть фосфатного вещества аморфная, с возрастом оно постепенно всё более раскристаллизовывается, размер кристаллов растёт, а доля органического вещества в составе волокон костной ткани уменьшается, волокна теряют эластичность, кость становится более хрупкой. Состав кристаллического фосфата кальция костной ткани точно не установлен. По составу и свойствам он является как бы биогенным аналогом апатита, но с отличиями в кристаллической структуре. Главной кристаллической фазой в веществе хрящей опять-таки является биогенный фосфат – аналог апатита, он составляет до 5% объёма хрящей. Эмаль зубов состоит на 96%, а дентин – на 70% из биогенного аналога апатита, остальной объём ткани сложен белковыми веществами – амиогенином и энамелином. Эмаль как бы собрана из призм, скреплённых этими белковыми соединениями. В свою очередь, каждая призма представляет собой субпараллельный агрегат шестоватых кристалликов биогенного “апатита”, погружённых в белковое вещество. Имеются сведения о тонких особенностях химического состава фосфата кальция в зубах (А.Г.Булах).

Мочевые камни, камни в почках, печени, жёлчном пузыре, трахее, наросты в аортах образованы различными аморфными и кристаллическими фазами, в разных органах это фосфаты, карбонаты, оксалаты либо ураты. Их много. Среди них есть прямые аналоги минералов, тождественные с ними по химическому составу, структуре, морфологии кристаллов. При росте камней устанавливаются те же признаки образования конкреций, ритмично-зональных агрегатов, геометрического отбора, расщепления кристаллов, друзового роста, которые обычны для минералов в природе.

Минералы экзогенного происхождения попадают в дыхательные органы человека из воздуха. Среди них наиболее опасны тальк, каолинит, кварц, волокнистые, асбестовидные амфиболы и серпентин, которые вызывают силикоз и другие болезненные явления в дыхательных путях и лёгких.

Среди минералов, используемых в пищу самым известным (но не единственным) является галит NaCl . Широко применяется для изготовления косметических средств и парфюмерных изделий тонкоперетёртый тальк. Чистая монтмориллонитовая глина является хорошим природным моющим средством, а её сухой порошок очищает желудок от бактерий. При лечении артрозов и других болезней суставов используется бишофит. Есть достаточно много лекарств от внутренних и наружных болезней, в рецептуру которых входят минералы. Особо большой опыт использования минералов в лечебных целях накопила традиционная медицина в Тибете и Внутренней Монголии.

Изучение минералоподобных веществ, извлеченных из организма человека, ведётся разными методами. Диагностика выполняется по оптическим свойствам (исследования ведутся в шлифах и иммерсионных препаратах с помощью петрографического микроскопа), методом рентгенофазового анализа и по химическому составу (выполняются разные виды химических и спектральных анализов). Делаются термовесовые анализы, изучаются люминесцентные свойства, инфракрасные спектры, определяются плотность и другие физические свойства.

Экспериментальная и технологическая минералогия

Принципиальные сдвиги в экспериментальной базе минералогии и в использовании метода моделирования для изучения закономерностей формирования минералов существенно изменили облик минералогии как на-

уки, а также имеют практическую ценность для понимания сущности природных процессов с целью выработки критериев поисков рудных месторождений. Процессы формирования минералов, горных пород и рудных месторождений исключительно сложны своей сопряжённостью с геологическими процессами, длящимися сотни миллионов лет и протекающими при высоких температурах (до 1000°С и более) и давлениях (до десятков тысяч атмосфер). Трудности моделирования минералогических процессов обусловлены также тем, что они не имеют аналогов в технологической практике, на опыте которой выросли классическая физическая химия и термодинамика. Эти процессы осуществляются в условиях выноса и привноса огромных масс вещества, что также представляет принципиальные трудности при создании моделей. Поэтому нередко привлечение моделей из физики, химии, термодинамики при воссоздании природы минералогенезиса оказывается неэффективным. Проблемы и перспективы экспериментальной минералогии освещались в работах В.А.Жарикова.

Общая схема исследования процессов минералогенезиса и петрогенезиса была разработана Л.Боуэном и Д.С.Коржинским и может рассматриваться как крупное достижение геологических наук. Учитывая масштабность и длительность природных процессов для построения и исследования теоретических моделей, создаваемых путём использования данных физики и химии и рассматриваемых как основной метод изучения минералогенезиса, нужны точные данные о таких параметрах процессов, как температура, давление, состав растворов и концентрация в них компонентов, скорости реакций, диффузии, фильтрации. Эти данные можно получить лишь путем экспериментального моделирования, искусственного воспроизведения природных процессов и их продуктов – минералов, горных пород, руд. Причём наиболее реализуемым оказывается экспериментальное изучение физико-химических условий образования минералов и минеральных ассоциаций, поскольку моделирование таких процессов, как горообразование или вулканическая деятельность встречает прин-

ципиальные трудности. Однако и такое ограничение возможностей экспериментальной минералогии создаёт условия для решения задач познания закономерностей минерало- и петрогенезиса.

Конкретное решение этих задач сводится к экспериментальному исследованию минеральных равновесий, динамики процессов минералообразования и к изучению свойств и строения вещества в различных агрегатных состояниях. На этих же путях решаются задачи искусственного получения промышленно важных минералов. Экспериментальное изучение минеральных равновесий берёт начало из работ по искусственному выращиванию минералов. Но при выяснении физико-химической природы минералов и горных пород необходимо не только получить их искусственно, но главное – выяснить условия равновесного существования минералов и их ассоциаций. Как отмечает В.А.Жариков (1976), “это весьма нелёгкая задача вследствие малой скорости минеральных реакций вблизи границ равновесия и, напротив, широких возможностей возникновения метастабильных фаз при использовании в качестве исходного материала аморфных смесей повышенной реакционной способности”.

Принципиальное значение имеет экспериментальное изучение минеральных равновесий с летучими компонентами в условиях высоких температур и давлений. Для изучения состава внутренних зон Земли, источника и генезиса при процессах дифференциации Земли важно исследование фазовых равновесий при сверхвысоких давлениях, а также физических свойств фаз (плотность, теплопроводность, упругость и т.д.).

Наряду с исследованием минеральных равновесий, выявляющих зависимость между минеральными парагенезисами и интенсивными факторами равновесия (температура, давление, активность компонентов) на основании фазовых реакций, важно изучать распределение компонентов между сосуществующими фазами. Природные системы принадлежат к особому термодинамическому типу так называемых систем с вполне подвижными компонентами, особенность которых, как было показано Д.С.Коржинским, состоит в том, что режим вполне подвижных компонентов определяется интенсивными параметрами, которые не зависят от реакций, осуществляющихся внутри систем.

Учёт этих факторов и особенностей позволил достигнуть заметных успехов в развитии экспериментальной минералогии, и доверие к её результатам возросло.

Издавна минералогические наблюдения и признаки использовались при разработке различных месторождений полезных ископаемых в старейших горнорудных районах мира – Саксонских и Словацких Рудных горах, Судетах и Силезии, Гарце, Урале и Рудном Алтае. Среди горняков сформировались целые школы минералогорудников, были заложены основы учения о парагенезисе, смежности нахождения минералов в природных образованиях, способствовавшие установлению минералогических поисковых и оценочных критериев рудных жил, тел и залежей. Позднее сформировались прикладные ветви науки: рудничная минералогия, технологическая топоминералогия, региональная минералогия и минералогические основы металлогении.

Тесная связь теоретических и существенно прикладных разработок – характерная особенность минералогического знания. Минералогия в прикладных аспектах опирается на теоретические представления кристаллографии, кристаллохимии и физики минералов, геохимии и физико-химического учения о минеральных равновесиях и вместе с тем стимулирует развитие теоретических представлений генетической и систематической минералогии, комплекса методов сепарации, изучения состава и строения минеральных фаз, индивидов и агрегатов. Связь сугубо научных и прикладных аспектов науки имеет большое значение для её прогресса. Так, минералогия пород лунной поверхности, обогащая, расширяя наши представления о возможном составе минеральных фаз и их парагенезисах, позволяет по-новому рассмотреть природу и историю возникновения земных геологических образований. Решение множества прикладных вопросов минералогии самым непосредственным образом связано с генетической минералогией, с совершенствованием методов минералогических исследований.

Минералогия на протяжении всей своей истории была непосредственно связана с геологической и горнорудной практикой. Однако в последние десятилетия эти связи не только укрепились, но и поднялись на новый качественный уровень. В значительной степени это объясняется изменением самой природы минералогии под влиянием бурного внедрения в неё методов кристаллохимии, физической химии, применения электронной микроскопии и микрозондирования, инфракрасной спектроскопии, дифрактометрии, радиочастотных, электростатических, магнитостатических, люминесцентных и многих

других методов. Ныне минералогия – одна из наиболее методически оснащённых геологических наук, широко применяющая совершенные методы, что позволяет значительно масштабнее использовать результаты изучения минералов для решения практических задач геологоразведочной службы и горного дела.

На основе достижений минералогии может решаться задача увеличения количества минералов, используемых промышленностью, и тем самым выявления новых видов минерального сырья. Вовлечение в сферу использования каждого нового минерала даёт экономический эффект, сравнимый с открытием нового крупного месторождения. Вовлечение новых минералов в сферу использования зависит от представлений о распространённости их в природе, а, следовательно, от выявления генетических и физико-химических условий их существования. Здесь тесно переплетаются теоретические и прагматические цели минералогии. Расширение областей применения минералов связано также с открытием их новых свойств. Так, изучение полупроводниковых, пьезоэлектрических, лазерных и других свойств привело к использованию ряда кристаллов минералов в радиоэлектронике (квантовые генераторы, полупроводники и т.д.). Даже в том случае, когда природные минералы не могут быть использованы в промышленности из-за дефектности кристаллов, минералогические исследования природных соединений составляют основу для работ по их синтезу.

Важным путём расширения промышленного использования минералов является химико-минералогический анализ, с помощью которого могут быть открыты в известных минералах ценные элементы-примеси. Это может стать основой для комплексного использования сырья и извлечения из рудных минералов всех заключённых в них ценных примесей, что очень важно на современном этапе развития народного хозяйства.

Ещё А.Е.Ферсман говорил о важности разработки специальных минералогических методов поисков месторождений полезных ископаемых и их комплексного использования в совокупности с геохимическими методами. Впоследствии геохимические методы фактически вытеснили, в силу ряда причин, минералогические, что нельзя признать правильным. Теоретической основой создания “поисковой минералогии” должны стать учения о типоморфизме минералов и парагенетических минеральных ассоциациях. Появились в минералогии

и новые методы, которые по доступности и скорости анализа могут приближаться к геохимическим. Минералогические методы по сравнению с геохимическими оказываются особенно ценными и важными на стадии оценки открываемых аномалий и рудопроявлений.

Основные задачи создания “поисковой минералогии”, как показал А.И.Гинзбург, такие: повышение информативности минералогического анализа проб, выявление участков, перспективных для постановки более детальных поисковых работ, оценка и разбраковка открываемых рудопроявлений, оценка уровня эрозионного среза рудных тел, глубоких горизонтов и их перспективности.

Решение первой из названных задач позволяет определять по типоморфным особенностям минералов формационный тип месторождения, по минералам-спутникам прогнозировать нахождение перспективных типов месторождений, по акцессорным и темноцветным минералам оценивать рудоносность пород.

Для рудных полей характерны определённые процессы минералообразования, по некоторым особенностям отличающиеся от аналогичных процессов, имеющих региональное развитие, это позволяет выделять перспективные площади и прогнозировать нахождение скрытых на глубине рудных тел. Например, зоны серицитизации в рудных полях многих гидротермальных месторождений характеризуются повышенным содержанием лития, реже – цезия.

Использование минералов-индикаторов позволяет значительно упростить оценку рудопроявлений. Так, определяя в полевых условиях ядерно-физическими методами содержание олова в турмалинах гидротермальных месторождений, удаётся выявить зоны, которые могут представлять интерес как оловорудные месторождения. Химические анализы проб в магматических и метасоматических телах, характеризующихся невидимой рудной вкрапленностью, не позволяют оценить рудопроявление, но это можно сделать при изучении минеральной формы нахождения рудных элементов.

Минералогия располагает методами, с помощью которых можно оценить распространение оруденения на глубину. Эта задача может быть решена на основе анализа вертикальной зональности, характерной для данного типа месторождения, и знания закономерностей смены с глубиной парагенетических ассоциаций минералов. Разработаны также методы кристалломорфологического анализа развития форм кристаллов и их зонального строения, помогающие решить эту

задачу, а также методы анализа элементов-примесей в минералах и концентрации летучих компонентов.

Перечисление даже некоторых подходов к минералогическому анализу рудопроявлений позволяет утверждать реализуемость в современных условиях программы создания “поисковой минералогии” или минералогических методов поиска месторождений полезных ископаемых. Эта программа, разработанная ещё А.Е.Ферсманом, может быть осуществлена при условии комплексирования минералогических методов с геохимическими и создания полевых минералогических лабораторий, позволяющих мобильно, в сжатые сроки анализировать минералогическую информацию непосредственно в ходе поисков.

Велика роль минералогии при совершенствовании методов добычи и технологии обработки драгоценных, ювелирных и поделочных камней и минералов. Именно описание драгоценных камней, их свойств, способов отличия от простых камней и подделок положили начало минералогии как науки. Во всём мире резко возрос интерес к цветному камню, внедряется новая технология его обработки, что ещё больше стимулирует использование минералогических достижений в этой области.

Драгоценные камни – наиболее совершенные и своеобразные представители своего минерального вида. Их месторождения чрезвычайно редки, возникают при сочетании многих благоприятных и редких геолого-минералогических факторов. Другая особенность заключается в большом разнообразии генетических типов месторождений драгоценных камней, геологических обстановок и условий локализации минералов и их сростков. Опробование этих месторождений также усложняется непостоянством свойств и качества цветных камней и их крайне неравномерным распределением. Всё это также стимулирует использование разнообразного арсенала минералогических методов. Важно, например, получение генетической информации для определения возможных и необходимых условий искусственного получения ювелирных минералов на базе онтогенических данных, термобарометрии, представлений о зарождении, росте, изменении природных драгоценных камней.

Получены искусственные рубины, шпинели, аметисты и другие ювелирные камни, а также многие подобные синтетические кристаллические вещества – самоцветы, используемые в промыш-

ленности и ювелирном деле. Очевидна роль минералогии в такого рода исследованиях, а также в разработке методик искусственного обогащения природных драгоценных, ювелирно-поделочных и синтетических камней. Так прокаливанием и облучением можно довести желтовато-зеленоватые бериллы до небесно-голубых, аквамариновых цветов. В результате ионизирующего радиоактивного облучения бесцветных топазов получают камни янтарного цвета и ослабляют этот цвет нагреванием или облучением кристаллов ультрафиолетовыми лучами. Ярко-красная окраска топазов может быть получена путем прокаливания коричнево-желтых хромосодержащих камней. Красновато-коричневые, буроватые цирконы приобретают после термической обработки золотистый или голубоватый цвет.

Столь актуальная в наши дни задача комплексного использования недр, тесно сопряжённая с задачами охраны окружающей среды и глобальными экологическими проблемами, вызвала быстрое развитие такой ветви прикладной минералогии, как технологическая, возникшей на стыке технологии минерального сырья и минералогии. Эта отрасль науки и практики объединяет все минералогические исследования, направленные на комплексное использование минерального сырья и повышение извлечения полезных компонентов. В рамках технологической минералогии решаются различные вопросы – от изучения особенностей минерального состава месторождения и закономерностей пространственного распределения рудных минералов до изучения техногенных продуктов.

Необходимость полного извлечения всего комплекса полезных компонентов на месторождении при наличии значительных вариаций рудных и сопутствующих минералов и их минеральных форм диктует необходимость установления закономерностей пространственного распределения всех полезных компонентов. Это можно сделать путём составления минерало-технологических карт. При этом приходится изучать распределение не только основных рудных минералов, но и некоторых сопутствующих, влияющих на обогатимость руд и технологию передела концентратов.

Разработка технологических схем извлечения руд существенно зависит от того, в каких минеральных формах они заключены. Минералы по-разному ведут себя при гравитационном обогащении, флотации или при гидрометаллургической переработке концентратов. Возникает важная для технологической минералогии задача: на

основе изучения свойств минералов разработать совместно с технологиями соответствующие схемы извлечения полезных компонентов и составить балансы их распределения по минералам.

Различные минералы по-разному проявляют себя в технологическом процессе: реагируют с кислотами, щелочами и органическими соединениями при разных температурах и давлениях, при обжиге и спекании с различными флюсами и т.д. Существенное значение для технологии извлечения рудных компонентов представляют также состав и структура минералов.

Новым направлением технологической минералогии является специальное изменение свойств минералов с целью их разделения и обогащения, осуществляемое путём воздействия на физические свойства минералов с помощью методов физики твёрдого тела, ядерной физики и физической химии. Таким образом, удаётся изменить степень дефектности кристаллических решёток природных кристаллов и тем самым многие их физические свойства. Воздействуя на минералы комплексом методов, можно, изменяя некоторые их свойства, добиться их разделения на те или иные фракции.

Актуализировалась также задача минералогического изучения отходов обогащения, запасы которых накапливались в течение всей технологической истории человечества. В этих отходах содержатся элементы, которые ранее не извлекались или извлекались недостаточно, а теперь представляющие большой интерес для производства.

В целом развитие технологической минералогии весьма эффективно и представляет собой одну из форм действительно интенсивного хозяйствования, поскольку повышение извлечения полезных компонентов из руд и разработка новых схем обогащения равносильны открытию и разведке новых месторождений.

Наноминералогия

Наноминералогия – одно из перспективных направлений современной минералогии, сосредоточенное на проблемах изучения организации минерального вещества микро- и ультрамалого масштаба, особых свойств ультрадисперсных минеральных выделений и минералов со структурой кластеров. Это наука о формировании, физико-химических свойствах природных соединений, размер которых хотя бы в одном измерении

входит в наношкалу. Это означает, что и минералогия включилась в самую передовую высокую технологию знания общества – нанотехнологию.

Нанотехнология сегодня рассматривается как ключевая высокая технология, которая обеспечивает направленное конструирование изделий с заданными свойствами путём манипуляции атомами и молекулами. Развиваясь как метод получения фундаментальных знаний, она становится самостоятельной силой направленного воздействия на природу, общество и человека. Достижения в нанотехнологии неизбежно ведут к революции в медицине, электронике, искусственном интеллекте, промышленности и других сферах человеческой деятельности. Нанотехнология произведёт такую же революцию в манипулировании материей, какую произвели компьютеры в сфере информации. Это означает, что нанотехнология – это путь к созданию новой цивилизации с присущим ей набором ценностей и идеалов.

Специфика нанотехнологии состоит в том, что она является не только практической технологией создания материальных объектов, обращённых на природный мир, но и нацелена на конструирование социального мира, что выражается в спектре возможностей её применения. Кардинальное отличие нанотехнологии от всех остальных технологий состоит в том, что она позволяет преобразовывать мир на атомно-молекулярном уровне и использовать его неисчерпаемые ресурсы. Специфика двойственного характера развития нанотехнологии заключается в кардинальном преобразовании физического мира, а это требует учёта возможных необратимых последствий.

Существует множество определений нанотехнологии. Обычно преобладают определения через размеры её объектов, в которых, по крайней мере, один из размеров лежит в области 1-100 нанометров ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10 \text{ ангстрем} = 10^{-3} \text{ микрон}$; диаметр человеческого волоса составляет порядка 80 000 нм, размер красных кровяных телец – 2 000 – 3 000 нм). Такой диапазон размеров лежит в промежуточной области между миром отдельных атомов и молекул и микроструктурами, получаемыми современными методами микроэлектроники.

Различают *нанотехнологию как науку*, изучающую свойства наноструктур, закономерности их формирования и функционирования, и *нанотехнологию как базирующийся на данных нанотехнологических исследований набор конкретных технологий и методик, основанных на манипуляциях с отдельными атомами и молекулами.*

Как наука нанотехнология представляет собой новое междисциплинарное научно-техническое направление, сформировавшееся на стыке физики, химии, биологии, техники, медицины, материаловедения.

Во всех индустриально развитых странах расширению нанотехнологических исследований и созданию новых нанотехнологий придаётся огромное значение. Многие эксперты сегодня полагают, что именно нанотехнологии будут служить главным движущим фактором научно-технического развития цивилизации в XXI в. Только на университетские центры по нанотехнологиям сегодня уже имеется более 100 000 ссылок в Интернете. В США президентом Бушем в декабре 2003 г. подписана Национальная программа по нанотехнологиям, в которой объём государственного финансирования работ в этой области на период с 2005 по 2008 г. был определён в 3,7 млрд дол. США. В мире в 2003 г. общий объём финансирования работ по нанотехнологиям достиг 2.984 млрд дол. (США – 774 млн, Западная Европа – 600, Япония – 810), что составило 690 % (!) от уровня финансирования 1997 г. По данным Исследовательской службы Конгресса США (Congressional Research Service), в 2006 г. США должны были выделить на эти цели 1,1 млрд дол. Ещё 2 млрд дол. в 2005 г. потратили на те же цели американские корпорации (нанолаборатории создали такие гиганты бизнеса, как HP, NEC и IBM, университеты и власти отдельных штатов). Хотя, в отличие от государства, бизнес по большей части ориентируется не на поддержку фундаментальных разработок, а на проекты с коротким сроком окупаемости.

На долю США приходится примерно треть всех мировых инвестиций в нанотехнологий. Другими главными игроками на этом поле являются Европейский Союз и Япония. Исследования в этой сфере активно ведутся также в странах бывшего СССР, Австралии, Канаде, Китае, Южной Корее, Израиле, Сингапуре, Бразилии и Тайване. Прогнозы показывают, что к 2015 г. общая численность персонала различных отраслей нанотехнологической промышленности может достичь до 2 млн человек, а суммарная стоимость товаров, производимых с использованием наноматериалов, составит как минимум несколько сотен миллиардов долларов и, возможно, приблизится к 1 трлн дол.

Хотя переход от производства в лаборатории к массовому производству чреват значительными проблемами, а надёжную обработку материалов в наномасштабе требуемым образом всё ещё трудно реа-

лизовать с экономической точки зрения, в общей сложности американская промышленность и индустрия других развитых стран ныне применяют нанотехнологии в процессе производства как минимум 80 групп потребительских товаров и свыше 600 видов сырьевых материалов, комплектующих изделий и промышленного оборудования.

Известно, что традиционная химия исследует возможности получения различных веществ на основе различных способов соединения атомов в элементарную повторяющуюся структуру (элементарную ячейку), состав которой соответствует химической формуле вещества. Типичный характерный размер элементарной ячейки в различных веществах колеблется от долей нанометра в материалах, состоящих из атомов одного сорта, до нескольких нанометров в сложных соединениях. Набор атомов, образующий химическую формулу, представляет собой элементарный строительный блок вещества.

Наноматериалом называют вещество, строительные блоки которого (наноструктуры) имеют размер от единиц до сотен нанометров и могут быть образованы не только из отдельных атомов, но и из химических соединений. Довольно часто понятия “наноматериал” и “наноструктура” употребляют как синонимы. Как показал опыт, путём создания наноструктур, но не меняя химический состав, можно изменять такие фундаментальные свойства материала, как цвет, проводимость, температура плавления, твёрдость, механическая и химическая стойкость. Примером наноструктур служат полупроводниковые гетероструктуры, представляющие собой чередование нескольких слоёв одного материала, например арсенида галлия (GaAs), и нескольких слоёв другого материала, например арсенида алюминия (AlAs)²⁷.

Область наноразмеров – это *область действия законов квантовой механики*, которые определяют как свойства наноструктур, так и закономерности их формирования. В нанометровом диапазоне существенно меняются такие важные характеристики, как электропроводность, коэффициент оптического преломления, магнитные свойства, прочность, термостойкость и многое другое. Фундаментальные исследования в нанотехнологии связаны с изучением физических свойств,

²⁷ Алферов Ж., Таиров Ю., Астахов М., Чаплыгин Ю., Горбачевич А. Новое направление подготовки “Нанотехнология” // Высшее образование в России. – 2004. – № 6. – С. 83-84.

механизмов действия, закономерностей поведения и других аспектов разнообразных наноструктур. Например, объектами фундаментальных исследований нанотехнологии являются структура и свойства квантовых точек, кристаллических решеток, отдельных атомов и молекул, геномов, белков и т.д. Подобные исследования *ведут к формированию новой картины мира*, в которой действуют законы, отличные от макромира. На квантовом уровне возникают принципиально новые возможности по сравнению с классическими системами. Например, это возможность реализации квантовых алгоритмов вычислений и создания квантового компьютера, способного решать задачи, в принципе неразрешимые на обычном классическом компьютере. Это сказывается на том, что свойства приборов на основе наноструктур могут существенно отличаться от свойств традиционных приборов и устройств микроэлектроники, функционирование которых основано на классических принципах.

Реальность, которая окружает современного человека, по своим параметрам часто далеко выходит за пределы естественных параметров человека как телесного существа. Например, темпы и ритмы большого города характеризуются очень большими скоростями, частотами и интенсивностью, что, как правило, не характерно для жизни и биологических ритмов в природной среде. Человек смог создать технические средства, которые раздвинули границы макромира, доступного для его органов чувств. Но сегодня человек стремится не только изучать микро-, макро- и мегамир, но и управлять микромиром. *Человек, по существу, вступает в соревнование с природой в стремлении получить контроль над микроскопическими процессами и структурами, составляющими фундаментальную основу материального мира.*

Нанотехнологии возникли как естественный результат от взаимодействия двух направленных навстречу друг другу процессов – стратегий предметной деятельности. С одной стороны, *процесс миниатюризации*, который наиболее явно выражен в современном развитии микроэлектроники, осваивающей рубеж 0,1-микронного размера элементов микросхем (этот путь иногда называют еще “up-bottom” – “сверху-вниз” подходом). С другой стороны, *процесс усложнения молекулярной структуры при химическом синтезе*, который привёл к созданию методов атомной и молекулярной сборки (“bottom-up” – “снизу-вверх” подход). В первом случае человек играет роль

скульптора, формируя наноструктуру из имеющегося материала. Во втором случае – *роль строителя*, собирающего наноструктуры из отдельных кирпичиков, которыми выступают атомы и молекулы²⁸. Добавим, что обе эти роли по сути своей сводятся к роли творца, для которой человек ещё не имеет должных этических ограничений.

Общим для всех направлений нанотехнологий является то, что они *базируются на принципах квантовой механики*, которые являются едиными для всех процессов и явлений, протекающих в нанобласти, а также *универсальная технологическая и метрологическая база*.

Смена научной парадигмы, связанная с прогрессом нанонауки, должна привести к новому уровню взаимоотношений и взаимодействия учёного и природы, познающего субъекта и познаваемой среды. Из исследователя-наблюдателя учёный превращается в творца-проектировщика, собирающего и создающего принципиально новые объекты материального мира по молекулам с заранее заданными параметрами и необходимыми свойствами.

Наноминералогия рассматривает структурно-морфологические особенности, конституционную специфику и разнообразие минеральных наноструктур и наноиндивидов; особое внимание уделяется анализу форм существования и кластерной самоорганизации вещества на наноуровне, генезису минеральных микро- и наноструктур. Аномальность наноминералов связана с размерными эффектами – явлениями изменения свойств в связи с резким возрастанием удельной поверхностной энергии минералов при уменьшении размера индивидов, начиная с 0,1 мкм.

В задачи наноминералогии входят синтез ультрадисперсных материалов и исследования их свойств, разработки по совершенствованию методов исследования тонкой неоднородности кристаллических структур. Наноминералогическими исследованиями разработаны новые методы извлечения и освоения золота, платиноидов, алмазов, созданы новые матричные материалы для захоронения радионуклеидов.

Понятия “дисперсные и ультрадисперсные системы”, “дисперсные структуры”, “дисперсное состояние вещества” исходят из коллоидной химии, физико-химической механики. Исследование микро-

²⁸ *Сергеев Г.* Нанокриохимия: от ракетного топлива – к лекарствам // Наука и жизнь. – 2006. – № 4 // Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.nkj.ru/archive/2006/4/>

частиц привело в начале XX в. к обособлению и становлению новой науки коллоидной химии и введение в практику промышленности коллоидных материалов. Однако ограничения исследовательской техники позволяли в то время исследования только микронных частиц. Ныне к дисперсным объектам относят фазово-индивидуализированные малые и сверхмалые частицы с отчётливыми поверхностными ограничениями, а также внутрифазные структурированные элементы (многоядерные соединения, молекулярные и надмолекулярные группировки), краткоживущие структурные ансамбли, биологические структуры соответствующих размеров и даже продукты нано- и микроинженерии. Элементарная ячейка кристаллической решётки в них измеряется первыми нанометрами. Мельчайшие минеральные индивиды – минералы глин, кор выветривания, дисперсных фаз природных коллоидов имеют граничные размеры между микро- и наномиром.

В физике в число нанообъектов включают объекты, в которых хотя бы одно направление попадает в нанометровую область величин. В минералогии часто указывают размеры наночастиц от 1 до 100 нм, хотя, строго говоря, размеры наночастиц определяются интервалом от 0,1 до 10 нм. Однако для определения размеров необходимы физико-химические основания. Основная масса минерального вещества литосферы окристаллизована в индивиды от 1 мкм до 1 см; $1 \text{ мкм} = 0,001 \text{ мм}$.

Принята такая уровневая дискретность минерального вещества: мегаминералы – более 1 м; макроминералы – 1 м – 0,1 м; микроминералы – 0,1 мм – 0,001 мм; наноиндивиды – 0,0001 мм – 0,000001 мм, $10^{-7} \text{ м} - 10^{-9} \text{ м}$, 100 нм – 1 нм.

Дисперсные системы изучаются методами спектроскопии – рентгеновской, оптической, ЭПР, ЯМР, ЯКР. Прямое наблюдение нанообъектов возможно при помощи электронной микроскопии. Существенно расширились возможности исследования наночастиц при внедрении методов туннельной сканирующей и атомносиловой микроскопии, растровой электронной микроскопии. Природа наночастиц до конца непонятна ввиду недостаточной разрешаемости лабораторной техники исследования. Просвечивающая электронная микроскопия позволяет обнаружить наночастицы, но методика весьма трудоёмка. Растровая электронная микроскопия обладает недостаточной разрешающей способностью. Методы атомно-силовой

микроскопии, туннельной микроскопии и спектроскопии позволяют получить не только изображение с разрешением до атомарного, но и различить фазы, получить информацию об электронных и некоторых других свойствах.

Объектами наноминералогии являются наноиндивиды, наноструктуры и нанопространство.

Наноиндивиды – это элементарные минеральные структуры, сложенные ограниченным числом находящихся в дальнем порядке структурообразующих частиц. Наноиндивиды имеют чёткие фазовые границы, часто кристаллические очертания. Конституция и форма наноиндивидов определяется только внутренними факторами и не зависит от внешних воздействий, часть из них могут состоять из нескольких элементарных ячеек. Структура, состав, свойства разнообразие наноиндивидов изучены ещё слабо.

Нанодисперсное состояние минерального вещества особенно характерно для верхних частей литосферы, гидросферы, атмосферы, космического пространства, а также для биоорганизмов.

На наноуровне выделяются объекты, совмещающие свойства минерала и молекулы (молекула-кристалл, протокристалл). Примером их являются фуллерены – шаровидные молекулы C_{60} диаметром 0,714 нм, названные по имени архитектора Бакминстера Фуллера, создавшего геодезический купол. Фуллерен – примитивный кристалл, состоящий только из поверхности. М.Ю.Поваренных предложил концепцию фуллеренов как протоминералов, опирающуюся на представления, что минерал суть суперпозиция траекторий перемещения его поверхностей. Есть основания рассматривать фуллерены как кристаллообразующие молекулы.

Фуллерены обнаружены в карельском шунгите, в импактных брекчиях, рассеянном межзвёздном веществе, на внешних поверхностях искусственных спутников, продуктах лесных пожаров, фульгуритах, дыме, бытовой и технической саже.

Исследование наноструктур могут привести к расширению наших представлений о фундаментальных процессах геологии и планетообразования, о межзвёздном веществе, механизмах минералообразования, выветривания горных пород. Наноминералы рассматриваются как продукт природных нанотехнологий, происходящих в масштабах нанoshкалы ($10^{-6} - 10^{-9}$ м) без вмешательства человека.

В принципе все минералы проходили этап наносостояния при кристаллизации или разрушении и их можно рассматривать в качест-

ве природного композитного наноматериала. Наноминералы формируются в процессе естественных нанотехнологий “снизу-вверх” – от атома к нанокристаллу или по технологии “гель-золь”. В технологиях “сверху-вниз” – выветривании, диспергировании в зонах разломов образуются наночастицы. Но могут формироваться и новые нанофазы, в результате механо-химических реакций.

Переработка, обогащение руд – это типичный процесс нанотехнологии “сверху-вниз”. Очевидно, что недоучёт явлений, связанных с этими процессами, снижает полноту извлечения полезных компонентов. Недоизвлеченные компоненты, вместе с хвостами, шлаками и другими отходами сбрасываются в хранилища, формируемые вокруг горнообогатительных комбинатов, металлургических и других производств. Это специфические техногенные месторождения, физико-химические процессы формирования в которых определяются процессами естественных нанотехнологий, взаимодействием раздробленных, истёртых частиц микро-нанометрового размера и образованием необычных по составу и форме соединений. Наноминералогические исследования позволяют ответить на вопрос – можно ли вообще извлекать оставшиеся в отходах ценные компоненты или же необходимо разрабатывать новые технологические регламенты.

Изучение экологических систем в основном базируется на геохимических исследованиях с ориентировкой на предельно допустимые концентрации элементов-токсикантов, без учёта их форм нахождения в окружающей среде. Многие элементы (As, Hg, Se, Zn и др.) могут переходить в связанную безвредную форму, иначе большинство месторождений мы должны были бы рассматривать как зону экологических катастроф. Однако минералы, абсолютно безвредные в массивной форме (кварц, полевые шпаты и т.д.), при переходе в наносостояние превращаются в чрезвычайно агрессивный для человека и окружающей среды материал. В экологических системах появляются наноминеральные формы, характер воздействия которых на человека и окружающую среду пока не ясен.

Возможности образования наноминералов и наночастиц в природе разнообразны: тектогенные, взрывогенные и другие процессы; кристаллизация из гетерогенных, коллоидных систем; распад и выделение примеси из твёрдых растворов, диффузия и локализация элементов в дефектах структуры, распад нестабильных изотопов и неустойчивых соединений, выветривание и т.д.

Новейшие аналитические методики исследования вещества позволили перейти на качественно новый микро- и наноуровень исследования геологических образцов – пород, руд и минералов. Разработаны приёмы и методы управляемого синтеза монодисперсных наноразмерных частиц кремнезёма, заложены основы ряда новых технологий извлечения минералов и наноминералов из ультрадисперсных руд и природных композитов – золота, платиноидов, оксидов марганца, полиметаллов. Этих результатов удалось добиться благодаря оснащению лабораторий современной электронно-микроскопической техникой, атомно-силовыми и туннельными микроскопами, применению уникальных способов рентгеноסקопии.

На наноуровне происходит переход вещества в конденсированное состояние, здесь зарождается и реализуется индивидуализация, организация в упорядоченную функционирующую систему. Здесь истоки вещественных структур и структурных функций, на этом уровне формируются физико-химические и информационные механизмы структурообразования и индивидуализации вещества. Познавание природного минерального наномира имеет большое значение не только для наук о Земле, но и для всего естествознания.

**Геммология:
симбиоз искусства,
технологии
и коммерции**

Геммология – направление минералогии, изучающее драгоценные и поделочные камни, главным образом их физические свойства, особенности химического состава, декоративные художественные достоинства, минерагению месторождений, а также технологию обработки.

Геммология в современном понимании – это совокупность сведений о драгоценных и поделочных камнях, о их физических свойствах, особенностях химического состава, декоративно-художественных достоинствах минералов и минеральных агрегатов, использующих в ювелирном и камнерезном производстве. В предмет геммологии входит также изучение геологии месторождений и разработка технологий обработки драгоценных и поделочных камней, в том числе и методов их облагораживания. Геммология занимается также имита-

циями, синтетическими аналогами природных камней и синтетических материалов, не имеющими природных аналогов.

Геммология зародилась в ранний период существования минералогии. Первые минералогические работы в основном посвящены драгоценным камням, их необычным свойствам и способам отличия от простых камней и подделок (труды древнеримского учёного Плиния Старшего, средневекового учёного Бируни).

Геммология – наука о ювелирном, ювелирно-поделочном и поделочном камне. Её история условно может быть разделена на два крупных этапа. Первый – эпоха эмпирического накопления знания в течение многовекового опыта потребления камня в разных областях человеческой деятельности: в горнорудном деле, строительстве, разного рода ремёслах и технологиях; на рынках, особенно рынках роскоши; в духовной культуре – в религии, науке, искусстве. Хронологические рамки этого этапа – древность, античность и средние века – двадцать пять веков человеческой истории.

Второй этап геммологии начинается с века Просвещения, когда в Европе камень сделался предметом изучения специальных отраслей научных знаний, – кристаллографии, минералогии, петрографии, а диагностика ювелирного камня, когда-то таинственная, как оккультные “науки”, приобрела значение точного знания. Выделение геммологии в самостоятельную отрасль произошло на рубеже XIX и XX веков. Это было время бурного роста науки и техники, открытия новых месторождений драгоценных камней, начала производства искусственных камней – аналогов природных минералов. Достижения науки позволяли изменить некоторые свойства ювелирных камней (окраску, прозрачность и др.). Всё это повысило интерес к ним.

Впервые термин геммология был употреблен в 1892 г., а в 1908 г. на конференции британской Гольдсмитовской национальной ассоциации по предложению М.Барнетта, принимается резолюция о необходимости подготовки геммологов – и в 1910 г. в Лондоне начинают действовать курсы, на которых читаются лекции и проводятся экзамены по геммологии.

Для формирования геммологии как научного направления сыграли большую роль труды немецких исследователей драгоценных камней П.Грота (1887), Н.Дёльтера (1893), М.Бауэра (1896), американца Дж.Кунца (1890 и др.), англичанина – Дж. Смита (1912 и др.) и др. Помимо изучения и описания ювелирных камней и их месторождений,

большое место уделялось разработке методов диагностики минералов и их отличию от всё увеличивающегося числа синтетических камней. Начало разработке приборов, специально предназначенных для этой цели, положил Дж.Смит, создавший в 1906 г. геммологический рефрактометр. Велик вклад в решение этих задач Геммологического института Америки, основанного в 1931 г. Р. Шипли в Лос-Анджелесе (США), Механической лаборатории в Лондоне (Великобритания), Института исследования драгоценных камней в Майнце (ФРГ), Лаборатории исследования алмазов в Иоханнесбурге (ЮАР) и др.

Зарубежная геммология второй половины XX в. связана с именами Б.Андерсона, Р.Вебстера, Е.Гюбелина, Р.Шипли, Р.Лиддикота, Дж.Синканкаса, К.Шлосмахера, Г.Банка. Научно-исследовательские и конструкторские работы, а также подготовка геммологов в большинстве стран проходят в рамках национальных геммологических ассоциаций и обществ. Создана Международная геммологическая ассоциация. Распространению достижений геммологов способствуют периодические издания. Раз в два года созываются международные геммологические конференции.

В России геммологические исследования были начаты в XIX в. В.М.Севергиным и М.И.Пыляевым. Уральские самоцветы широко использовались и изучались многими минералогами. В СССР исключительная роль в изучении камней-самоцветов принадлежит А.Е.Ферсману. Его перу принадлежат “Очерки по истории камня”, “Драгоценные и цветные камни СССР”, “Рассказы о самоцветах”, “Из истории культуры камня в России”, “Цвета минералов”, “Занимательная минералогия” и ряд других книг, написанных интересно, с большим художественным вкусом. А.Е.Ферсман был замечательным знатоком драгоценных камней и воспитал выдающихся специалистов: В.И.Крыжановского, А.А.Мамуровского, Г.Г.Леммлейна, Г.П.Барсанова и др. А.Е.Ферсман был энтузиастом создания в стране производства камнесамоцветного и ювелирного сырья, одним из организаторов треста “Русские самоцветы”. Под его руководством произведено первое научное описание сокровищ Алмазного фонда СССР.

Изучение месторождений драгоценных и поделочных камней, начало которому было положено А.Е.Ферсманом, продолжили В.С. и Н.В.Соболевы, М.А.Гневушев, В.С.Трофимов, Б.И.Прокопчук, Е.Я.Киевленко, Н.Н.Сенкевич, Т.И.Менчинская, Б.М.Шмакин,

геологи и минералоги объединения “Союзкварцсамоцветы” и многие другие. Минералогические аспекты геммологии рассматривались в трудах Д.П.Григорьева, И.И.Шафрановского, Ю.Л.Орлова, Г.П.Барсанова, М.Е.Яковлевой, А.И.Жабина, В.И. Кузьмина и др.

Особое место среди исследований занимают вопросы изучения окраски минералов, их люминесценции и других физических свойств. Решение их стало возможно только благодаря современным достижениям физики твёрдого тела. В этой области большой интерес представляют работы А.С.Марфунина, М.И.Самойловича, А.Н.Платонова, Л.В.Бершова и др. Различным аспектам изучения органогенных ювелирных камней посвящены работы С.С.Савкевича, Б.М.Сребродольского, А.А.Кораго и др.

Быстро развивается направление искусственного получения ювелирных камней. В России следует отметить работы А.А.Годовикова, М.И.Самойловича, В.С.Балицкого, Г.Н.Безрукова, Г.В.Букина и др. Большая работа по организации центров и лабораторий по изучению и диагностике драгоценных камней выполнена Н.Я.Баулиным, В.М.Зубковым, В.М.Романовым, Н.И.Корниловым, Ф.И.Лобановым и др. Вопросам обработки алмазов посвящены труды В.Н.Андреева, В.И.Епифанова, А.Я.Песиной, Л.В.Зыкова, Э.И.Белицкой и др.

Геммология – это совокупность сведений о драгоценных и поделочных камнях, главным образом о физических свойствах, особенностях химического состава, декоративно–художественных достоинствах минералов и минеральных агрегатов, использующихся в ювелирном и камнерезном производстве. Изучают также геологию месторождений и технологию обработки драгоценных и поделочных камней, их конъюнктуру и рынки.

Важное прикладное назначение геммологии – определение минерального вида драгоценного камня и его происхождения (нередко осуществляемое по огранённому образцу, заметное воздействие на который недопустимо), а также установление отличий природных драгоценных камней от их синтетических аналогов и имитаций. Кроме того, геммология включает разработку методов облагораживания драгоценных и поделочных камней.

Геммология взаимодействует с минералогией, петрографией и кристаллографией, использует методы физики, химии, петрологии, геологии и биологии. Тесная связь с минералогией определяется тем, что подавляющее большинство драгоценных и поделочных камней

представляют собой минералы. По данным Г.Смита (1984), из более чем 4 тысяч известных минералов почти треть так или иначе используется в ювелирном деле. Однако не все драгоценные и поделочные камни – минералы. Минерал – природное химическое соединение с определённой кристаллической структурой, образовавшееся в ходе природных геологических процессов. Минералами в строгом смысле слова не являются некристаллические образования, такие как янтарь или вулканические стёкла, но они также являются объектами изучения геммологии. Не относятся к минералам и благородные органоминеральные продукты: жемчуг, коралл, гагат и т.п. Минералами не являются ювелирные камни, полученные синтетическим путём в лабораториях и на заводах (фианит, иттрий-алюминиевые и галлий-гадолиниевые гранаты) и их синтетические аналоги – искусственные алмазы, корунды, кварц, авантюрин и множество других имитаций природных ювелирных камней. В 1902 г. французский химик М.А.Вернейль впервые получил и начал поставлять на мировой рынок синтетические рубины, а чуть позже синтетические сапфиры и синтетическую шпинель. Появление большого количества синтетических камней не снизило, а, напротив, повысило значение и стоимость натуральных природных самоцветов.

В геммологии проводятся диагностические, описательные, эстетические, генетические, прикладные, технико-экономические, экспериментальные, региональные исследования и преобразования каменного материала. Среди перспективных направления геммологических исследований называют: накопление диагностических данных о ювелирных камнях для повышения надёжности их идентификации экспрессными неразрушающими методами исследование свойств синтетических камней и критериев их отличия от природных аналогов; изучение современных методов облагораживания и поиск методов распознавания следов облагораживания, исследование оптических свойств алмазов и оптимизация огранки бриллиантов, исследование окраски драгоценных камней с применением компьютерного моделирования.

Геммологическая экспертиза начинается с определения драгоценного камня. Затем эксперты доказывают природное происхождение камня и ищут следы возможного облагораживания. Производится оценка качества драгоценного камня – так называемая экспертная оценка, без которой установить денежную стоимость камня очень

трудно. Самой стоимостной оценки эксперты-геммологи не производят, потому что окончательная стоимость камня определяется рынком, и потому, что в стоимость ювелирного изделия, кроме стоимости камня, входит много других составляющих.

Эксперты-геммологи сталкиваются в повседневной работе с самыми разными камнями и имитациями. Для того, чтобы правильно определить камень, нужны специальные знания и специальное оборудование. Нужно знать принятые в мире системы экспертных оценок для различных камней и быть в курсе всех новинок на рынке. Поэтому экспертное заключение, выданное авторитетной геммологической лабораторией, повышает доверие не только к камню, но и к ювелирному изделию в целом. Мировая практика продаж дорогих произведений ювелирного искусства предполагает наличие на него заключений экспертов, в том числе и геммологических, если в изделии стоят ценные камни. Часто изделия, продаваемые через аукционные дома, имеют заключения геммологической экспертизы.

Основными задачами геммологии являются: применение неразрушающих инструментальных методов исследования вещества к изучению драгоценных материалов; изучение декоративных свойств и характерных особенностей цветных камней с целью использования их для изготовления украшений, декоративных предметов или произведений искусства; совершенствование процессов облагораживания ювелирно-поделочного сырья; разработка критериев диагностики природных и синтетических самоцветов; внедрение в ювелирное дело новых цветных камней и расширение возможностей использования уже известных минералов; создание новых синтетических аналогов минералов и ювелирно-поделочных камней, а также совершенствование технологических схем синтеза уже существующих самоцветов; экспертиза объектов геммологии.

Согласно классификации Е.Я.Киевленко, в основу которой положен критерий стоимости самоцвета, цветные камни делятся на три группы:

- ювелирные (драгоценные) камни (первый порядок: алмаз, изумруд, рубин, сапфир синий; второй порядок: александрит, оранжевый, зелёный и фиолетовый сапфир, благородный чёрный опал, благородный жадеит); третий порядок: демантоид, шпинель, благородный белый и огненный опал, аквамарин, топаз, родолит, турмалин; четвёртый порядок:

хризолит, циркон, жёлтый, зелёный и розовый берилл, кунцит, бирюза, аметист, пироп, альмандин, лунный и солнечный камень, хризопраз, цитрин);

- ювелирно-поделочные камни (первый порядок: лазурит, жадеит, нефрит, малахит, чароит, янтарь, горный хрусталь (дымчатый и бесцветный); второй порядок: агат, амазонит, гематит – кровавик, родонит, непрозрачные иризирующие полевые шпаты (беломорит и т.п.), "иризирующий" обсидиан, эпидот – гранатовые и везувиановые родингиты (жады);
- поделочные камни (яшма, мраморный оникс, обсидиан, гагат, окаменелое дерево, лиственит, рисунчатый кремень, графический пегматит, флюорит, авантюриновый кварцит, селенит, агальматолит, цветной мрамор и т.п.).

В группу ювелирно-поделочных камней объединены твёрдые и самые красивые непрозрачные камни, лучшие из которых используются наряду с драгоценными камнями в ювелирных изделиях, а рядовое сырьё – в массовом ювелирно-галантерейном и сувенирно-камнерезном производстве. Кроме того, к этой группе относятся довольно распространённые прозрачные камни – янтарь и горный хрусталь (дымчатый и бесцветный), стоящие значительно ниже, чем камни четвёртого порядка.

Самоцветы природа одарила прекрасными сверкающими гранями, изумительной игрой света, но из-за воздействия атмосферных осадков, подземных вод и различных газов грани кристаллов покрываются бороздками, штрихами, ямками. Они не только скрывают очарование самоцветов, но и создают кажущееся впечатление об их ординарности. В природе трудно обнаружить кристалл без каких-либо дефектов, и чем больше камень, тем многочисленнее скрытые дефекты – микротрещины, посторонние включения в виде кристалликов или пузырьков воздуха. Яркие, сверкающие на солнце всеми оттенками цветовой гаммы самоцветы с глубокой древности привлекали внимание человека. И чтобы сделать их красивыми, мастера пытались различными способами очистить и отполировать грани камней. Тогда они сверкали в лучах солнца, как самые чистые самоцветы.

Искусство резьбы по камню, или *глиптика* (греч. glihtike – вырезать), – это изготовление гемм. Выгравированные на поверхности камней выпуклые изображения называются камеей, а углубленные изображения – инталией.

Древнейшими камнерезными изделиями были полые цилиндры из халцедона или агата, на которых изображали символические знаки и религиозные фигуры. Такие цилиндры служили печатями или амулетами. Самые древние подобные предметы родом из государств Двуречья – Шумеры, Вавилона и Ассирии, процветавших задолго до наступления нашего летоисчисления. Первые резные фигурки из камня, представлявшие пластинчатоусых жуков или скарабеев, появились несколько тысячелетий назад. Их особо почитали в Древнем Египте.

Глиптика была широко распространена в античной Греции. Очень высокого уровня это искусство достигло во времена Древнего Рима. Но в средние века это искусство было забыто. Только в эпоху Возрождения художники Италии вновь обратились к резьбе по камню. В настоящее время глиптика очень популярна во всем мире. Центром камнерезного искусства в Европе считается г. Идар-Оберштейн в Германии, откуда поступает на рынок Западной Европы около 90% резных камней.

Если раньше для изготовления гемм использовали различные по окраске агаты, яшмы, реже – аметисты, то постепенно в орбиту глиптики стали вовлекаться и другие камни. И не только поделочные, но и драгоценные. И ныне даже на гранях алмаза можно увидеть различные выгравированные фигурки.

В древности, придавая форму камням, обычно лишь шлифовали и полировали природные грани. Таким образом, достигались блеск и сверкание камня. Отполированные камни нанизывали на нитку и носили на шее в виде ожерелья или кулона.

Самый популярный способ придания формы камню называется “кабошон”, что означает “голова”. Способом кабошона обрабатывали изумруды, рубины, сапфиры и гранаты. В наши дни все эти камни гранят, а форму кабошона придают лишь имеющим какие-либо дефекты. Кабошоном обрабатывается “кошачий глаз”, звёздчатые камни, или астерии и, главным образом, полупрозрачные и непрозрачные камни. Астерия – это синие (звёздчатый сапфир) или красные (звёздчатый рубин) корунды. При огранке в этих камнях при соответствующем освещении возникает шестилучевая звезда. Темно-красному гранату, который раньше называли карбункулом, настолько часто придавали форму кабошона, что это название стало его синонимом. В середине прошлого века это был самый популярный камень для брошей. Ныне он вновь входит в моду.

При фасетной огранке весь камень покрывают плоскими гранями. Прежде эта форма определяла светский характер и подчеркивала магическую силу камня. Существует четыре разновидности фасетной огранки: алмазной таблицей: в виде тонкой пластины с большой плоской гранью сверху; розой: множество треугольных и ромбических граней образуют выпуклость в форме летящей капли на плоском основании (так, например, роза Антверпена содержала 12 граней, роза с красной вставкой – от 12 до 24 граней); алмазная, или бриллиантовая, огранка осуществляется в виде двух составленных основаниями усечённых пирамид, из которых одна смотрела вершиной вверх, другая – вершиной вниз, и вся эта конструкция вставляется в оправу; огранка “лесенкой” близка по форме к усечённой пирамиде, но вершина и боковая грань выполняются в форме трапеции.

Долгое время считалось, что алмаз нельзя обработать из-за его чрезвычайно большой твёрдости. Поэтому вплоть до XX в. алмазные октаэдры просто вставляли в оправы. Впервые шлифовать грани алмазов металлическими дисками с алмазными порошками начал в XIX в. Луи де Беркан из города Брюгге в Бельгии, хотя вполне возможно, что этот способ зародился ещё в Индии. Первые гранильщики настолько увлекались своим могуществом над алмазами, что стали придавать камням фантастические формы. Однако при этом они не осознавали, каковы уникальные возможности самого камня.

Вплоть до второй половины XVI в. камням в Европе придавали только правильные формы алмазного наконечника и алмазной таблицы. Обе эти формы основаны на использовании правильного октаэдра. Примитивные инструменты и отсутствие алмазной пилы, которая появилась только 100 лет назад, делали труд гранильщика тяжёлым и долгим. Ведь стачивали 1/16 часть всей массы камня.

В середине XVI в. на основе алмазной таблицы был получен после огранки фасетный камень с многоугольной площадкой. Четыре боковых ребра в верхней и нижней частях камня ошлифовываются таким образом, что на их местах возникают плоские фасеты. Эта так называемая простая, или ординарная, огранка вместе с двумя концевыми плоскостями насчитывает 16 фасет.

При дальнейшем наложении фасет на боковые рёбра возникает “двойная” огранка с 34 фасетами и округлыми очертаниями в плане. Эта огранка розой, изобретение которой приписывают французскому кардиналу Мазарини, носит его имя. Жюль Мазарини сам увлекался

обработкой алмазов и собрал великолепную коллекцию драгоценных камней, которую завещал французской короне. В настоящее время розой гранятся только мелкие алмазы.

В конце XVII в. венецианский гранильщик Винченцо Перуцци разработал новый вид огранки алмазов, насчитывающий 58 фасет. Хотя контур камня при этом становится круглым, но огранка уже приближается к бриллиантовой. В Индии бриллиант имел 10 граней, в Старой Англии – 37, в Португалии – до 74. А огранка XX в. уже содержит от 80 до 88 граней. Полная бриллиантовая огранка, которая была разработана в 1910 г., включает не менее 32 фасет в верхней части и не менее 24 фасет в нижней. Существуют и специальные виды огранки с большим числом фасет: королевская – 86 фасет, величественная – 102, профильная, или принцесс, 144-146 фасет.

При одном и том же типе шлифовки камням могут быть приданы весьма разнообразные формы: сердце, герб, бочонок.

Редкость – качество, присущее природному камнесамоцветному сырью. Человечество издавна стремилось получить самоцветы искусственным путём, а также улучшить качество природных самоцветных камней. Однако только в наше время стало возможно искусственно выращивать аналоги алмаза, рубина, сапфира, изумруда и других драгоценных минералов. Некоторые вещества, выращенные в технических целях, также с успехом стали использовать в ювелирном деле.

Под облагораживанием ювелирно-поделочного материала понимают искусственное улучшение его свойств с целью повышения ювелирных и художественно-декоративных качеств самоцветов. Чаще всего облагораживание связано с изменением окраски минерала. Люди занимались этим ещё в глубокой древности. При облагораживании использовали мёд, различные охры и сурик, медный купорос, примитивные кислоты. С развитием химии пропитка минералов различными химическими реагентами стала обычным делом. В наше время после открытия радиоактивности и рентгеновских лучей было обнаружено, что многие самоцветы обладают способностью изменять цвет при ионизирующем облучении. Ныне в геммологии накоплен большой опыт облагораживания минерального камнесамоцветного сырья. В практических целях для изменения окраски минералов используют три типа воздействия: пропитывание химически активными веществами, термическое воздействие, ионизирующее облучение.

Известный самоцвет бирюза, сложный фосфат меди, теряя воду, бледнеет. Ювелиры называют этот процесс старением бирюзы. Чтобы

избежать старения, в давние времена бирюзу пропитывали воском, парафином, жиром, а в наше время – коллоидальным кремнезёмом, жидким стеклом, различными органическими смолами. Агат, скрытокристаллическая, полосчатая разновидность кварца, чаще всего в природе встречается в виде натёчных агрегатов серого цвета. Для окраски агатов используют неорганические соли хрома (зелёный цвет), железа (жёлтый цвет), кобальта (синий цвет), никеля, меди и других металлов. Часто химическую пропитку агатов сочетают с температурным обжигом: в старину невзрачные серые агаты выдерживали в сахарном сиропе, а затем обжигали в печах, получая при этом замечательные ониксы, с контрастным цветным рисунком. Окрашенные старыми мастерами агаты практически невозможно отличить от лучших природных образцов.

Качество природных цветных камней можно улучшить термообработкой. Горщики Урала, извлекая из недр кристаллы мориона (чёрная разновидность кварца), запекали их в тесто и в результате обжига получали прекрасные жёлтые кристаллы цитрина – несомненно, более ценную разновидность.

Поступающие на мировой рынок из стран Индокитая природные сапфиры зачастую характеризуются слишком густым черно-синим цветом, что существенно снижает их стоимость. Прогрев в течение нескольких суток при температуре более 1000° С, как правило, позволяет сделать природные сапфиры существенно более светлыми.

Ионизирующее облучение нередко приводит к изменению окраски самоцвета в обратную сторону по сравнению с термообработкой. К сожалению, облучённые радиоактивными химическими элементами самоцветы часто сами становятся радиоактивными. В геммологической практике обычно используются установки облучения с радиоактивным изотопом. Например, топаз – бесцветный, прозрачный минерал, который после облучения становится коричневым, голубым или зелёным в зависимости от дозы облучения. Также алмазы, которые при облучении солями радия окрашиваются в зелёный цвет, при облучении нейтронами – в коричневый, а при облучении в потоке электронов – в голубой цвет.

В практике геммологии чаще всего используются такие методы:

- рентгеноспектральный микроанализ (микрозонд), позволяющий проводить точный химический анализ в локальной области без разрушения вещества. Метод применяется при диагностики драгоценных камней, имитаций, определения

составов сплавов металлов и особенностей химического веществ;

- рамановская спектроскопия (спектры комбинационного рассеяния) используется для определения вещества, а также определения состава включений, не выходящих на поверхность камня, без его повреждения;
- электронный парамагнитный резонанс (ЭПР-спектроскопия) позволяет определять природные камни с точностью до месторождения, а синтетические – с точностью до метода синтеза. Особенно успешно метод применяется для изумрудов. Данный метод также используется для изучения природы окраски минералов;
- оптическая спектроскопия (инфракрасная, видимая и ультрафиолетовая области) применяется для изучения состава драгоценных камней и их окраски;
- люминесцентная спектрофотометрия (с различными способами возбуждения люминесценции) служит для изучения природы окраски и позволяет отличать природную окраску драгоценных камней от искусственно наведенной;
- рентгеноструктурный анализ (монокристалльный) позволяет определять структуру кристаллического вещества и распределение в структуре различных примесей;
- электронная микроскопия высокого разрешения служит для изучения структуры вещества на микроуровне. В настоящее время достигнуто разрешение около 1 ангстрема (10^{-8} см).

Использование компьютерных и информационных технологий позволило создать конкурентоспособный на мировом рынке программный продукт для разметки крупного алмазного сырья, в том числе сложной формы, с дефектами и внутренними неоднородностями. В настоящее время ведётся работа по созданию интерактивных учебных программ по экспертизе бриллиантов. Интернет используется в геммологии для анализа мирового рынка бриллиантов, цветных камней и ювелирных изделий. Нарастающий поток информации на электронных носителях, появление мировых компьютерных сетей по торговле бриллиантами и ювелирными изделиями, прогнозы на будущее компьютерного рынка драгоценных материалов уже сегодня требуют от специалиста умения работать с компьютерными сетями и ориентироваться на мировом электронном рынке.



ПАМЯТИ А.С.ПОВАРЕННЫХ

Александр Сергеевич Поваренных родился 3 февраля 1915 г. в Ленинграде в семье служащего. Его отец, Поваренных Сергей Иванович, окончил в 1915 г. Ленинградский технологический институт. Мать Надежда Николаевна Поваренных (урождённая Волкова) была домохозяйкой. Летом 1917 г. семья переехала в Саратов, а затем, в 1917 г., в Ташкент.

Ещё в школе Александр увлёкся химией и твёрдо решил стать химиком-аналитиком. Однако вмешался случай. Об этом он рассказывает сам: “Впервые я узнал об Александре Евгеньевиче Ферсмани, прочитав его книгу “Занимательная минералогия”, которую в 1929 г. принёс к нам в дом друг тогда учился в 5 классе Ташкентской средней школы, был страстно влюблён в химию и готовился стать химиком. “Занимательная минералогия” А.Е.Ферсмана произвела на меня огромное впечатление и посеяла серьёзные сомнения в правильности выбора будущей специальности. Желая шире познакомиться с минералогией, я купил в букинистическом магазине “Минералогию” П.А.Землячского и “Учебник минералогии” Г.Г.Лебедева. Однако эти старые, довольно объёмистые и сухие книги, насыщенные незнакомым мне фактическим материалом, несколько охладили мою первоначальную минералогическую “страсть”, зажённую книгой А.Е.Ферсмана. Но летом того же года мы всей семьёй выехали на дачу, в горный кишлак Бричмуллу в 90 км от Ташкента, откуда я вместе со старшими совершал походы на древние полиметаллические выработки по р. Коксу, на месторождение Нурахмат, побывал на скарнах Малого Чимгана и в других местах. По возвращении домой я снова и снова перечитывал свою любимую “Занимательную минералогию”. Очень захотелось увидеть автора этой книги, представлявшего мне самым интересным и необычным

человеком”²⁹. После окончания школы Александр поступил в Ташкентский геологоразведочный техникум.

В том же 1931 г. ему удалось встретиться с А.Е.Ферсманом: “Осенью 1931 г. А.Е.Ферсман вместе с Д.И.Щербаковым оказались в Ташкенте, проездом в Каракумы. Д.И.Щербаков помог нам с отцом встретиться с Александром Евгеньевичем в гостинице. Я тогда только что поступил в Среднеазиатский геологоразведочный техникум и всё ещё сомневался в правильности принятого решения. Короткий разговор с Александром Евгеньевичем в шутовом, но убедительном тоне рассеял все мои сомнения. Меня поразили энтузиазм и экспрессия, когда он говорил, касаясь любимой темы, будь перед ним юноша или взрослый человек, выбирая для каждого лишь более подходящие слова. Когда я робко, слегка заикаясь, сказал ему, что очень люблю химию и хотел бы быть химиком, он весело, но слегка повелительно произнес: “Очень хорошо,... будьте геохимиком, будете изучать химию Земли, что сейчас очень важно. Самое главное – любить своё дело, искать новое, неизвестное, постоянно учиться и двигаться вперёд”. Казалось бы, обычные слова наставлений взрослых младшему поколению, но сказанные в итоге беседы, и не нравоучительно, а вдохновенно, в момент, когда внимание слушателя напряжено до предела (а я боялся упустить хоть одно слово), сыграли в моей жизни решающую роль. С этого дня я уже был окончательно покорён Александром Евгеньевичем, минералогией, геохимией и поставил себе цель – узнать об этих науках всё, что только возможно. Весной 1932 г. А. Е. Ферсман снова был в Ташкенте, где перед отъездом в Карамазар сделал увлекательный доклад перед широкой общественностью города о перспективах минерально-сырьевой базы Средней Азии. После доклада многие молодые геологи, в том числе и я, пробрались поближе к Александру Евгеньевичу и засыпали его вопросами, на которые он давал быстрые, очень остроумные и порой неожиданные ответы. На основе своего огромного личного опыта и знания зарубежной литературы он раскрыл перед нами вероятные рудные перспективы Средней Азии, приводя эффектные исторические примеры и высказывая логически убедительные прогнозы. Он вселил в нас уверенность, что многое здесь будет найдено, хотя, возможно, и не в очень крупных масштабах. При этом утверждал, что для успеха дела надо только точно знать что, а значит, и где искать. Александр Евгеньевич узнал меня среди окружающих и поинтересовался, как идет учёба, освоение минералогии и геохимии. С этого года в Средней Азии широко разворачи-

²⁹ *Поваренных А.С.* Мудрый наставник // Проблемы минерального сырья. Памяти академика А. Е. Ферсмана. – М.: Наука, 1975. – С. 246-247.

ются поисково-съёмочные и разведочные работы, особенно на руды редких и рассеянных элементов – мышьяка, молибдена, вольфрама, кобальта, олова и др.”³⁰.

Годы учёбы в техникуме запомнились замечательными летними практиками. Александр с увлечением работает в поле: “В Ташкенте организуется трест “Союзредметгеоразведка”, и я, студент, попал коллектором в ревизионную поисково-съёмочную партию, работавшую в Западном Тянь-Шане (бассейны рек Угам и Пскем). Здесь мы обследовали несколько древних полиметаллических месторождений и нашли ряд совсем новых, правда, небольшого масштаба, а также обнаружили контактово-метаморфические месторождения горного хрусталя, барита, флюорита и исландского шпата. Всё это нас окрыляло, вселяло надежду, и мы часто во время полевых работ вспоминали пророческие слова Александра Евгеньевича. В начале следующего года нашей партии было предложено продолжить исследования в этом районе, захватив бассейны рек Майдантал и Ойгаинг, с дополнительным условием – изучить пегматиты (Шамтерен, Турпакбель), известные по образцам ещё в прошлом столетии Д.Л.Иванову и И.В.Мушкетову. Тут мне как коллектору-минералогу партии пришлось засесть всерьёз за “Пегматиты” А.Е.Ферсмана. К началу полевого сезона эту книгу я знал почти наизусть, знал и выделенные Александром Евгеньевичем главные типы пегматитов, характерные для каждого из них парагенезисы минералов, состав и типоморные признаки главных минеральных видов и т.д. Я успел также по имеющимся в Ташкенте музейным образцам научиться определять макроскопически редкие или так называемые чёрные минералы. Полевые работы летом 1933 г. прошли успешно. Мы собрали очень интересный материал по пегматитам Майдантальского гранитного массива, включающим или представленным миаролитовым типом, и так называемым керамическим пегматитам, а также исследовали занорыши Шамтерека с дымчатым кварцем и аметистом. По возвращении с полевых работ в Ташкент, глубокой осенью я вновь увидел А.Е.Ферсмана. Он был болен и лежал в номере гостиницы. Когда ему становилось лучше, он беседовал с геологами. Пришли к нему и мы с друзьями дымчатого кварца, с образцами интересных, а отчасти ещё и неизвестных нам минералов. Меня поразило тогда с какой лёгкостью и уверенностью Александр Евгеньевич определял на глаз многие наши ортиты, эпидот-ортиты, иттротитаниты и другие “чёрные” минералы. Я внимательно следил за ним и видел, что он удовлетворён результатами наших работ и

³⁰ Там же. С. 247.

пожелал всем нам детально и всесторонне изучить материал в камеральный период”³¹.

В 1933-1934 гг. А.С.Поваренных был командирован во ВСЕГЕИ в Ленинград для камеральной обработке полевых материалов. Здесь он в последний раз встретился с А.Е.Ферсманом: “В Ленинграде, зимой 1934 г. я снова встретился с А.Е.Ферсманом и рассказал, что мы заканчиваем обработку материалов по пегматитам и что генетическая их картина мне представляется совершенно ясной. Он взглянул на меня, слегка прищутив один глаз, и сказал: “Ну, если Вам, молодой человек, всё совершенно ясно, то Вы – законченный учёный, а я, Вы знаете, кое в чем ещё сомневаюсь”. Я стоял перед ним красный, неловко переступая с ноги на ногу, и молчал, отчётливо сознавая, что допустил бестактность. Видя мое смущение, он успокоительно похлопал меня по спине, добавив в заключение: “Никогда не спешите с выводами, особенно с окончательными, в которых всё ясно и дальше выходит, уже не надо работать, по существу-то здесь часто работа только и начинается”. В 1940 г. вышло третье издание первого тома “Пегматитов”, в котором были отмечены и наши скромные работы по пегматитам р. Майданта”³².

После досрочного окончания техникума в 1934 г. А.С.Поваренных один год работал в должности старшего коллектора, а затем прораба Санталашской поисковой партии треста “Союзредметразведка”. В 1935 г. он поступил в Среднеазиатский индустриальный институт на горный факультет, который окончил в 1940 г. с отличием, получив специальность инженера-геолога.

После окончания института был призван в ряды Советской Армии. начал службу рядовым сапёрного батальона Ленинградского военного округа. Всю Отечественную войну провел в действующих частях Ленфронта на должности начальника химслужбы батальона, получив в сентябре 1941 г. звание офицера инженерных войск. Награждён орденом “Красной Звезды” и медалями “За оборону Ленинграда” и “За победу над Германией”. Получил тяжёлое ранение в 1945 г. под Териоки.

После окончания войны в октябре 1945 г. был демобилизован в звании капитана запаса. Тогда же сдал вступительные экзамены и был зачислен в аспирантуру кафедры минералогии Ленинградского горного института. В марте 1949 г. защитил кандидатскую диссер-

³¹ Там же. С. 247-248.

³² Там же. С. 248.

тацию, после чего некоторое время работал младшим научным сотрудником Научно-исследовательского сектора Горного института, а в апреле 1949 г. по направлению переехал на работу в Кривой Рог в Горнорудный институт, где был зачислен на должность доцента кафедры минералогии и петрографии. В 1951 г. утверждён в должности заместителя директора Криворожского горнорудного института по научной и учебной работе и одновременно зачислен докторантом Института геологических наук АН СССР в Киеве.

После окончания докторантуры А.С.Поваренных продолжал работать в должности заведующего кафедрой минералогии и кристаллографии Криворожского горнорудного института, завершая работу над докторской диссертацией. В мае 1957 г. в ИГЕМ АН СССР защитил докторскую диссертацию. В сентябре 1958 г. утверждён в ученой степени доктора геолого-минералогических наук, а в январе 1959 г. – в учёном звании профессора.

В сентябре 1960 г. Александр Сергеевич был принят по конкурсу в Институт геологических наук АН УССР и утверждён в должности заведующего отделом минералогии и кристаллохимии. В мае 1961 г. избран председателем Совета Украинского отделения Всесоюзного минералогического общества и ответственным редактором основанного им научного сборника “Конституция и свойства минералов”. В этот же период (1960-1969 гг.) принимал активное участие в работе Минералогической комиссии Карпато-Балканской геологической ассоциации и выезжал на конгрессы в Польшу, Болгарию, Югославию и Чехословакию.

За десять лет работы в Институте геологических наук А.С.Поваренных удалось подобрать коллектив способных научных сотрудников и создать современные лаборатории для успешного развития кристаллохимического направления в минералогии и, помимо продолжения теоретических работ, начать экспериментальное изучение структуры и свойств минералов. За этот период им опубликовано свыше 150 научных работ, в том числе книги “Твёрдость минералов” (1963) и “Кристаллохимическая классификация минеральных видов” (1966, в 1971 г. присуждена премия им. В.И.Вернадского Академии наук УССР, в 1972 г. издана в США на английском языке в двух томах), в которых были подведены итоги многолетних исследований в области теоретической минералогии и кристаллохимии.

С февраля 1969 г. вместе со своим отделом А.С.Поваренных был переведён во вновь организованный Институт геохимии и физики минералов АН УССР. В декабре того же года избран членом-корреспондентом АН УССР, а в марте 1970 г. – заместителем академика-секретаря Отделения наук о Земле АН УССР. В новом институте удалось существенно расширить лабораторную базу: созданы новые лаборатории – твёрдости, ИК-спектроскопии, люминесценции и оптической спектроскопии минералов.

А.С.Поваренных последовательно, систематически развивал кристаллохимическое направление в минералогии, различные аспекты которого нашли отражение в сотнях его научных работ. Он считал, что основная задача кристаллохимии минералов – это нахождение зависимости между свойствами минералов как кристаллических тел и их конституцией, под которой понимал химический состав и внутреннюю (атомную) структуру в их единстве и взаимообусловленности.

Главной заслугой А.С.Поваренных является внедрение метода выражения особенностей структуры минералов через так называемые кристаллохимические факторы составляющих атомов, к которым он относил валентность, координационное число, межатомные расстояния, строение наружной электронной оболочки, массу (атомный вес) и относительную прочность связей, которая вычислялась из разности электроотрицательностей противоположных атомов.

Уже на первом этапе исследований эта концепция позволила А.С.Поваренных установить качественную зависимость от конституции таких свойств минералов как термическое расширение и сжимаемость, растворимость, магнитная восприимчивость, диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, точки плавления и термического распада (декарбонатизации, дегидратации, дегидроксиляции). Из этого вытекала возможность сопоставления свойств между собой и достаточно точное предсказание их поведения при изменении состава и строения минералов, а также термодинамических условий окружающей среды.

В дальнейшем удалось найти зависимости между некоторыми свойствами и кристаллохимическими факторами в количественной форме, вывести для них математические уравнения. Это было сделано для таких свойств минералов как плотность (удельный вес), твёрдость, упругость и инфракрасное поглощение. Особенно детально такая зависимость была изучена для твёрдости минералов. Были предложены

методы и освещены особенности вычисления твёрдости, указаны пути использования уравнения твёрдости для уточнения деталей строения минералов и для выбора надлежащих компонентов при синтезе веществ с заранее заданными пределами величин твёрдости.

Успешно развивалась также расшифровка таких сложных свойств минералов как окраска и люминесценция, во всяком случае в некоторых классах и в связи с отдельными хромофорами. Эти работы были затем продолжены его учениками и сотрудниками.

Исключительно важное значение для быстрой и уверенной расшифровки кривых спектров поглощения минералов имело выведенное А.С.Поваренных кристаллохимическое уравнение силовой константы для атомных полиэдров, которое позволяло находить длину волны характеристических полос поглощения на кривых ИК-спектров в большом диапазоне, в том числе в длинноволновой области.

Кристаллохимический подход в интерпретации А.С.Поваренных оказался также эффективным в его работах по проблемам изоморфизма элементов в составе минералов, для уточнения связи внешней формы минералов с их структурой и режимом среды минералообразования, установлению зависимости числа минеральных видов от кларковых чисел элементов и кристаллохимического различия и сходства их друг с другом.

Определённым синтезом кристаллохимического подхода, развивавшегося А.С.Поваренных в минералогии, явилась его кристаллохимическая классификация минеральных видов, представленная во многих его публикациях, но особенно последовательно в монографии под таким же названием (1966), переизданной затем в двух томах в Нью-Йорке. В ней он стремился в максимальной степени отразить все основные особенности минералов, добытые рентгеноструктурными исследованиями за полвека, постулируя идею о том, что научная классификация представляет концентрированное выражение наших знаний о природе классифицируемых объектов и их главных взаимосвязях. Учитывая первые попытки внесения в старую химическую классификацию минералов данных об их структурных особенностях, предпринятые только в отношении силикатов, А.С.Поваренных приложил структурный принцип (деление на структурные мотивы) ко всем классам.

Основным отличием кристаллохимической классификации минералов от чисто химической, является то, что в первой находят

одинаковое отражение оба коренных признака минерала – химический состав и структура. В новой схеме классификации они логично чередуются один с другим. Так, классы выделяются по ведущему электроотрицательному элементу, или радикалу, в составе минералов, а подклассы – по ведущему структурному мотиву и т.д. Предложенная классификация наилучшим образом отражает как общие структурные особенности минеральных видов, так и все их свойства, и подчиняет их закономерному порядку во всех классах, что придает классификации также значительную практическую ценность.

В книге “Кристаллохимическая классификация минеральных видов” новой систематикой были охвачены все известные к тому времени минеральные виды. Здесь помимо принципов классификации строго научно обоснованы и сформулированы определения всех фундаментальных понятий минералогии (минерала, минерального вида, подвида, разновидности и разности), изложены принципы написания кристаллохимических формул и составления рациональных названий минералов.

А.С.Поваренных, следуя за Н.В.Беловым, аргументированно показал, что структура – это вторая сторона (наряду с составом) единой природы, сущности минерала. Познание структуры открыло возможности изучения особенностей этой природы, осветило главные взаимосвязи между составом и строением и позволило, вплотную подойти к причинному объяснению морфологии и свойств минералов.

Вместе с тем А.С.Поваренных возражал против сугубо геометрического подхода к минералам (а именно в таком виде в минералогии использовались идеи кристаллохимии), против положенного в основу учения о координации атомов, структурных типах, морфотропных переходах примитивно-стерического постулата в виде отношения радиусов атомов и ионов, якобы однозначно определяющего координацию атомов и устойчивость тех или иных структурных типов. Этот подход, по его мнению, не даёт никакой путеводной нити при входе в лабиринт структур в особенности сложных по составу минералов и давно исчерпал себя. Поэтому главное внимание при дальнейшем развитии структурной минералогии (кристаллохимии) следует обратить на причинную взаимосвязь структур, динамику структурных переходов и причины различной координации, которые в теории Н.В.Белова, хорошо понимавшего, что основные строительные час-

тицы микромира – атомы, ионы и радикалы – не могут быть уподоблены простым инертным шарам или другим фигурам, специально не рассматривались.

А.С.Поваренных полагал, что в основе координации атомов и структурных типов соединений лежит не отношение радиусов атомов или ионов, а главным образом прочность межатомных связей, определяемая в общем случае (для бинарных соединений) величиной межатомных расстояний, степенью ковалентности связей и соотношением валентностей различных атомов. Для переходных элементов ведущую роль играет строение электронных оболочек атомов, особенно в существенно ковалентных соединениях, а для структур сложных соединений – также взаимное влияние электроположительных атомов. Большое значение он придавал взаимодействию разных по силе связей электроположительных атомов в структуре друг на друга, полагая, что одни из них стабилизируют координацию других. Для понимания взаимосвязи структурных типов им было введено понятие коэффициента валентной насыщенности, с помощью которого можно было оценить устойчивую координацию электроположительных атомов и разнообразие уникальных структурных типов минералов. С уменьшением межатомных расстояний координационное число электроположительного атома уменьшается; повышение ковалентности связи препятствует этому.

На основе установления причинных связей им была предпринята попытка наметить кристаллохимическую эволюцию структур минералов, которая помогает ориентироваться в изменении строения минералов в зависимости от их химизма и оценить структурную роль каждого элемента в их строении.

В своей концепции кристаллохимического обновления минералогии А.С.Поваренных придавал большое значение учению о структурных мотивах, получивших широкое, но, по его мнению, недостаточное, развитие в минералогии. Изучение шести структурных мотивов (координационного, каркасного, кольцевого, островного, цепного и слоистого) существенно не только в теоретическом отношении, но играет важную роль для более глубокого познания самих минералов – их морфологии, всех физических свойств и даже генетических условий, поскольку некоторые из этих мотивов имеют очень чётко выраженную привязанность к определённым минералообразующим процессам. А.С.Поваренных возражал против закрепившегося

в минералогии стереотипа, согласно которому структурные мотивы присущи только минералам класса силикатов, тогда как их следует распространять и на другие классы минералов.

Одновременно с перестройкой минералогии на кристаллохимической основе А.С.Поваренных много внимания уделял дальнейшей разработке важнейших вопросов теоретической кристаллохимии и кристаллохимии минералов. В его работах исследуются различные проблемы, связанные со строением кристаллов. Но все они рассматриваются с единых позиций динамической кристаллохимии в отличие от старых, чисто стерических (формально-геометрических) принципов.

Призывая, вслед за Н.В.Беловым, всячески развивать структурную минералогию дальше на основе всесторонней разработки теории реальных структур минералов, нахождения близости и взаимосвязи между ними, установления взаимных переходов и промежуточных типов, а также пределов их химической и термодинамической устойчивости, А.С.Поваренных вместе с тем вовсе не ограничивал этим задачи кристаллохимического подхода в минералогии. Он обосновывал в минералогии новое направление *динамической (силовой) кристаллохимии*, которое, по его мнению, является наиболее многообещающим в приложении к исследованию природы свойств минералов.

Следует подчеркнуть стремление А.С.Поваренных обосновать *целостность* выдвинутой им концепции, что как раз характерно для теорий как относительно замкнутых систем аргументации. Им использовались для этого аргументы разного рода, в том числе методологические и исторические. Надо отметить пропагандировавшуюся им попытку переформулировать генетические интерпретации, столь характерные для минералогии, с позиций кристаллохимического подхода.

А.С.Поваренных формировался как теоретик минералогии, что само по себе было необычным. Это вовсе не означало, что он пренебрегал или отстранялся от эмпирического подхода, доминировавшего и продолжающего доминировать в минералогии: и в кандидатской диссертации и во многих работах зрелого периода он ввёл в научный оборот много конкретных фактов. И тем не менее теоретическая составляющая всегда в нём превалировала. Тем более, что она удачно сочеталась с его даром методолога, развившимся в нём благодаря его высокому общекультурному уровню, интересу

к проблемам философии, истории науки и культуры, результатам и методам смежных с минералогией и даже более отдалённых отраслей науки. Этот дар теоретика и методолога был, с одной стороны, важным его преимуществом по сравнению с большинством видных специалистов в области минералогии, позволявшем ему ставить и разрешать кардинальные теоретико-методологические её вопросы, а с другой – обусловил и определённую его изоляцию, скептическое и критическое отношение к высказывавшимся им идеям, что в немалой степени было обусловлено общей эмпирической ориентацией дисциплинарного сообщества. Методологическая его устремлённость проявлялась не только в общенаучных и теоретических его трудах, но практически была сквозной для всего его творчества, её нельзя не заметить даже в фактологических его работах. В его капитальных трудах методологическая составляющая ярко выражена не только в “Кристаллохимической классификации минеральных видов”, но и в “Твёрдости минералов”.

Постоянным был его интерес к проблеме определения научных понятий. В связи с этим он писал: “Общеизвестно, что определения понятий играют в науке весьма важную роль. Без них развитие наук было бы невозможно, так как все различные в своей сущности предметы и явления слились бы в безликий конгломерат “изоморфных” или тождественных понятий. Определения понятий составляют основную часть каждой научной теории, и, как свидетельствует история любой науки, вместе с развитием последней они соответственно изменяются и уточняются, отражая и закрепляя в логической форме успехи и достижения научного мышления. Разумеется, далеко не всегда учёные умело и со знанием законов логики формулируют определения научных понятий... В естественных науках, особенно в науках геологической группы, такого тесного контакта с логикой фактически никогда не существовало. Это в основном обусловлено описательным, по сути дела, чисто эмпирическим методом изучения объектов данных наук, унаследованным ещё от тех далёких времён, когда происходило становление главных наук геологической группы, подвергшихся позже дифференциации. В результате бурного развития всех наук и усилившегося влияния их друг на друга (в особенности же наук, изучающих явления и закономерности микромира) в каждой из них всё больше возрастает доля теоретического знания, базирующегося на более совершенном физическом эксперименте и математическом методе анализа. Это в свою очередь вызывает повышение логического мышления в теории науки, которая требует большей строгости

и точности как при определении научных понятий, так и при введении новой научной терминологии”³³.

С развитием и дифференциацией наук старые понятия изменяются и уточняются, одновременно возникают и новые понятия, составляющие логическую основу новых наук, как возникших в результате дифференциации, так и в связи с образованием промежуточных наук. Следствием развития научных понятий, отмечал А.С.Поваренных, является эволюция и определений, поскольку одна из задач последних – правильно и во время отражать в логической форме объективно происходящие изменения в содержании научных понятий, что достигается изменением определений и приведением их в соответствие с новым содержанием. Вместе с содержанием должен изменяться и объем научных понятий. Развитие понятий с потенциально однородным содержанием сопровождается одновременным углублением их содержания и увеличением их объёма (которое зависит от особенностей природы объекта, отражаемого в понятии). Для развития понятий с потенциально неоднородным содержанием характерно наряду с углублением их содержания уменьшение их объёма в связи с выделением части объектов иной природы, чем остальные. Этот вполне закономерный процесс является также и причиной дифференциации науки.

Поскольку в определениях очень многих основных научных понятий геологических наук сплошь и рядом можно обнаружить различные нарушения правил формальной логики, что в большинстве случаев обесценивает определения, которые в результате логических ошибок оказываются не верными как по форме, так и по существу, А.С.Поваренных сформулировал применительно к минералогии основные правила определения понятий и главные их типы: определение через ближайший род и видовое отличие, определение через отношение, определение через закон, определение через генезис и проводит их сравнительную оценку.

Большинство типичных логических ошибок в определениях научных понятий минералогии и близких к ней наук, по мнению А.С.Поваренных, объясняется игнорированием учёными правил формальной логики, что приводит к искажению в определениях объ-

³³ Поваренных А.С. О значении определения понятий и терминологии для развития науки (на примерах минералогии) // Диалектика развития и теория познания в геологии. – К.: Наук. думка, 1970. – С. 5.

ективной картины неорганической природы. Некоторая часть ошибок обусловлена устарелостью определений, более или менее верных на прошедшем этапе развития науки, но некритически, по традиции перенесенных в новое время. Частой ошибкой в определениях является, например, тавтология. Другого рода ошибка – неполное, одностороннее определение, скорее характеристика определяемой науки через другую. Часто встречаются такие ошибки как несоразмерность определения, т.е. оно оказывается либо слишком широким, либо слишком узким, и выбор в качестве родового признака не ближайшего вышестоящего понятия, а понятия более отдалённого. В качестве примера последней А.С. Поваренных называет такие определения понятия минерала, в которых указывается, что он как продукт земных химических реакций является составной частью земной коры, причём более близкие к минералам (промежуточные по массовидности) материальные тела – горные породы и руды, – также составляющие части земной коры, в определениях пропускаются. Эта логическая ошибка приводит к ошибке и по существу, так как горные породы и рудные тела ставятся на один уровень с минералами, из которых они состоят, что, разумеется, совершенно неправильно.

На базе этих логико-методологических размышлений А.С. Поваренных и выстраивал свои определения кардинальных понятий современной минералогии, прежде всего минерала и минерального вида, имея в виду также понятия, заполняющие весь объём от индивида до минерального вида. Он полагал, что для правильного определения понятия минерала необходимо учесть и отразить следующие три стороны: конституцию, занимаемое место в ряду дискретной материи и способ происхождения.

Конституция минералов даёт возможность чётко отделить их как твёрдые кристаллические тела от качественно отличных материальных тел того же структурного уровня – жидкостей и газов, причём только они способны в обычных условиях к индивидуализации, т.е. к образованию жёсткой внешней формы, тесно связанной с их составом и строением.

Указание на занимаемое минералом место в ряду дискретной материи строго фиксирует не только его положение в иерархии дискретных материальных масс, но также указывает на генетические и структурные взаимосвязи с материальными телами ближайших к нему других структурных уровней снизу и сверху. Ближайшими сни-

зу являются атомы, ионы и их локальные объединения, а сверх – тела горных пород и рудных агрегатов, выступающих в роли ближайшего родового понятия при определении понятия минерала.

Генезис минерала как продукта природных физико-химических реакций дополняет определение понятие минерала существенным признаком, позволяющим отделить минералогию от химии, химической технологии, металлургии, которые широко синтезируют кристаллы аналогичного состава и строения.

А.С.Поваренных удалось вскрыть существенные связи между определениями научных понятий и созданием рациональной и систематической научной терминологией и на этой основе наметить реальные пути усовершенствования номенклатуры минералов – одной из актуальных методологических проблем современной минералогии. Предложенный А.С.Поваренных проект рационализации минералогической номенклатуры методологичен по самой своей сути, доказательно показывает на материале истории минералогии многие нелепости и тупики, которые возникают из-за несовершенства номенклатуры. Фактически он не был принят минералогами, что, однако, не означает, что он не имеет перспективы. Напротив, как указывал сам Александр Сергеевич, его принятие могло бы вывести минералогию по крайней мере на методологический уровень неорганической химии, где такая реформа была проведена. Но для профессионального сообщества минералогов он оказался чересчур революционным.

В методологическом наследии А.С.Поваренных особое место занимает проблема обоснования познавательных возможностей и особенностей такого средства науки как классификация. Им доказательно было показано, почему происходит смена классификаций в минералогии, где они часто выполняют роль своеобразной теории. Он полагал, что смена научных классификаций обусловлена изменением существенных признаков минерала, положенных в основание той и другой.

Интерес и практическая разработка методологических вопросов науки неизбежно побуждала Александра Сергеевича выходить в более общую сферу науковедения и организации науки. В собранной им огромной личной библиотеке рядом с классическими и современными трудами по минералогии, геохимии, философии, искусству заметное место занимают науковедческие издания в широком смысле слова. Как практический исследователь, он интересовался не только

вопросами организации науки, информационного и ресурсного её обеспечения, планирования, но и проблемами психологии научного творчества, социологии науки, взаимодействия наук и методов, наукометрии. Можно, пожалуй, говорить об определённой активизации его интереса к науковедческой проблематике в годы, когда он работал в Президиуме АН УССР заместителем академика-секретаря Отделения наук о Земле (1970-1974). В Академии наук Украины, где всегда вопросы новых форм организации науки были актуальны и стояли высоко, он как один из ярких представителей собственно фундаментальной науки чаще всего выступал за её интересы при усиливавшейся утилитаризации научного поиска, т.е. как оппонент официально проводившейся линии.

А.С.Поваренных резко и многократно выступал против кадровой гигантомании в академической науке и в науке вообще, столь распространённой в те годы. Он полагал, что поднять уровень научных исследований в институтах можно через активизацию трёх факторов: необходимо повысить квалификацию научных сотрудников, приобрести необходимое оборудование и “актуализировать” научную тематику. Но повышение квалификации и приобретение нового оборудования – дело долгое, а жизнь требует оперативности. Поэтому начинать следует с изменения научной проблематики, и прежде всего необходимо резко уменьшить количество научных тем в институтах, сконцентрировав научные силы на наиболее важных направлениях и, что особенно важно, провести замену тем второстепенных на темы главные, теоретические, имеющие фундаментальное значение в геологических науках, как это и подобает академическим учреждениям. Эта проблема была актуальной в его время и остаётся таковой и ныне в условиях кризиса науки, реализации так называемой концепции “выживания” науки и имитации действий по трансформации научной системы.

А.С.Поваренных совсем не в духе времени высказывает интересные соображения относительно того, как понимать “уровень исследований”: “Под уровнем научных исследований какого-либо института в данной области мы понимаем состояние практически реализуемых теоретических основ той или иной науки по сравнению с возможно более полной их реализацией в настоящее время в мире”. Именно об этом идёт речь сегодня в отношении фундаментальной науки.

Не менее актуально звучат сегодня его соображения относительно выбора тематики исследований в фундаментальных науках. Этот выбор он связывает не с теми или иными утилитарными и прагматическими целями, а с имманентным развитием фундаментальных отраслей науки, а поэтому с эрудицией и научным уровнем учёных высшей квалификации в институте, с состоянием научно-экспериментальной базы, без высокого качества которой постановка фундаментальных теоретических проблем большого масштаба в план института вообще невозможна.

Представляет интерес и также перекликается с нашим временем ещё одна рекомендация А.С.Поваренных. Он считал, что при далеко зашедшей дифференциации встаёт вопрос о рационализации научной структуры геологических институтов, в которых институты должны быть невелики и каждый должен разрабатывать проблемы науки качественно однородных объектов. Существование огромных, “комплексных” академических институтов нерационально: работа учёных советов таких институтов имеет неполноценный характер, поскольку минералогам не интересны вопросы петрографии или учения о полезных ископаемых, а тем более геологии, так как они не являются областями их специальных знаний, быть же компетентным во всех науках геологического цикла сейчас не может никто. Научная разнородность институтов приучает ученых к дилетантизму – самому пагубному для науки состоянию ученого, способному привести его к деградации как специалиста.

А.С.Поваренных выступал также против механического регулирования возрастной структуры институтов. Он основывался на выявленной известными науковедами Д.Пельцем и Ф.Эндрюсом зависимости между возрастом и творческой продуктивностью ученых, суть которой заключается в существовании двух пиков высокой продуктивности, сопровождающихся обычно выдающимися научными достижениями: “Один пик приходится на период 35–39 (40–44) лет, а второй – на 50–54 (55–60) лет (в скобках даны цифры для учёных со степенью). Из этого факта следует: чем раньше человек (потенциальный учёный) знакомится со своей будущей любимой наукой, тем раньше у него проявляются оба пика творческой активности. Так, для учёных физико-математического направления, которые обычно с первого класса средней школы (а иногда и раньше, дома) знакомятся с основами этих наук, максимумы творческой активности приходятся на 30–35 и 45–50 лет.

Для геологов, у которых это знакомство происходит на 10–12 лет позже (в середине университетского курса), эти максимумы, естественно, смещены на столько же лет (42–47 и 57–62 года соответственно). Отсюда следует, что эффективность творческой научной работы у геологов может быть достаточно высокой и в начале пенсионного возраста, а их общая научная полезность даже и в более пожилом возрасте не вызывает никаких сомнений. Кстати, в возрасте 55–65 лет (второй максимум) ученые создают хорошие учебники, справочники, сводки, энциклопедии по своему предмету, поскольку обладают наибольшей эрудицией и опытом. Просматривая биографии творчески одарённых ученых-геологов, мы видим, что наиболее крупные научные труды, требовавшие максимального напряжения всех сил, были созданы ими в период первого творческого максимума – в 42–47 лет (В.И.Вернадский, В.А.Обручев, А.Н.Заварицкий, А.К.Болдырев, А.Е.Ферсман, В.Н.Лодочников, С.С.Смирнов, Д.С.Коржинский и др.), но и во время второй творческой волны и далее до весьма преклонного возраста (В.А.Обручев, В.И.Вернадский, Н.В.Белов) они сохранили высокую научную продуктивность. В то же время характерно, что А.Е.Ферсман, впервые ознакомленный с минералами в раннем детстве, проявил яркие творческие научные способности уже в 30–35 лет, как это свойственно математикам. Всё это важно иметь в виду при использовании (расстановке и сбережении) научных кадров, особенно же при планировании теоретических научных разработок, в осуществлении которых “старая гвардия” учёных особенно ценна”³⁴. Правда, с оговоркой, если она в достаточной степени владеет методологией науки и не утратила требующейся для этого гибкости мышления и общей работоспособности.

Эти его соображения идут, пожалуй, вразрез с современным состоянием науки, когда происходит катастрофическое “старение” кадров и во многих отраслях произошёл уже разрыв между поколениями учёных, что грозит потерей преемственности в науке.

Вероятно, не получили бы поддержки раньше и ныне его предложения о неэффективности подготовки кадров науки через аспирантуру и докторантуру. Он основывался на том, что в естественных науках практически редки случаи подготовки аспирантами и докторантами диссертаций в срок, поэтому более рационально, чтобы диссертации готовились штатными сотрудниками в ходе выполнения плановых тем. Академическую же аспирантуру следует сохранить

³⁴ Там же. С. 15-16.

лишь с целью подготовки научных специалистов для периферийных научно-исследовательских институтов и вузов, где такая подготовка на местах затруднена из-за недостатка специалистов высшей квалификации.

В качестве важной меры для подъема эффективности научных исследований А.С.Поваренных рассматривал необходимость кардинальной перестройки информационного обеспечения науки, таким образом, чтобы отечественные исследователи могли чётко представлять, что делается в мировой науке, и соотносить с ней свой уровень исследований. Эта его мысль вполне коррелирует с аналогичным требованием, сформулированным В.И.Вернадским в довоенный период истории.

А.С.Поваренных был незаурядным историком науки, внесшим серьёзный вклад в разработку истории минералогии, хотя сам он рассматривал свою деятельность скорее как увлечение, которым занимался “для души”. Это увлечение, связанное с его общекультурным развитием, проявилось рано, ещё в годы работы в Кривом Роге, но в последующем органически вплелось в его научную программу. Главным в творчестве А.С.Поваренных на поприще истории науки была разработка истории кардинальных методологических вопросов и понятий современной минералогии, которые стали важнейшими аргументами при обосновании его оригинальной научной программы кристаллохимической трансформации минералогического знания. Первым из таких вопросов должна быть названа история определения понятия “минерал”. А.С.Поваренных справедливо замечал, что говорить об определении понятия минерала—это значить говорить о содержании минералогии, т.е. о том, какие объекты природы она изучает. Переход к кристаллохимическому этапу развития минералогии стимулирует активную перестройку всех ещё недавно казавшихся неизблемыми представлений о химизме и свойствах минералов, о понятии минерала и минерального вида, о классификации и номенклатуре минералов. Нельзя не признать логику и последовательность такой историко-научной реконструкции истории минералогии. Но самое главное, что этот логико-методологический анализ истории развития минералогии необходим был А.С.Поваренных для обоснования его также весьма последовательной и хорошо аргументированной научной программы перестройки минералогии на кристаллохимической основе.

Наиболее ярко и убедительно А.С.Поваренных удалось продемонстрировать эффективность разработанной им программы кристаллохимической трансформации минералогии на примере такого фундаментального свойства минералов как твёрдость, показав связь сущности твердости со структурными характеристиками и свойствами составляющих минерал атомов. А.С.Поваренных, продолжая направление, заложенное работами В.М.Гольдшмидта, А.Е.Ферсмана, В.С.Соболева, на основе кристаллохимических идей Л.Полинга исследовал действие различных кристаллохимических факторов на твёрдость, разработал кристаллохимическую теорию твёрдости и вывел основное её уравнение. Им разобраны основные примеры использования уравнения твёрдости для решения теоретических и прикладных задач, связанных с уточнением существующей шкалы твёрдости Мооса и синтезом твёрдых и сверхтвёрдых кристаллов для технических нужд.

У А.С.Поваренных был ярко выраженный критический дар, благодаря которому он внёс существенный вклад в обсуждение кардинальных теоретических проблем минералогии в 1950-80-е годы. Как известно из социологии науки, в профессиональном научном сообществе всегда есть негласное разделение труда, разные учёные выполняют разные роли: лидеры, теоретики, экспериментаторы, “привратники”, открывающие двери в сообщество новым членам и т.д. Роль “критиков” исключительно важна, она способствует постановке новых проблем, смене научных парадигм, не даёт науке впасть в стагнацию, застой. Конечно, такие “критики” часто раздражают, но в нормальном сообществе тем не менее формируется понимание их необходимости.

Неординарной по советским меркам была активность А.С.Поваренных в международном научном сотрудничестве. Он участник многих международных научных форумов, был избран членом минералогических обществ США, Канады, Японии, Италии, Польской Народной республики, имел обширную и плодотворную коммуникацию с зарубежными коллегами, избран членом-корреспондентом Международного комитета по истории геологических наук (ИНИГЕО).

А.С.Поваренных, утвердившись как теоретик минералогии, хорошо понимал, что в такой эмпирической отрасли знания как минералогия для его кристаллохимических идей необходима прочная

фактологическая основа. Перед ним в течение 1960-х годов стояла задача поиска метода, через который он мог бы развернуть подтверждение своих теоретических идей. С конца 1960-х годов он начинает масштабные работы в области инфракрасной спектроскопии минералов и постепенно, после того как удалось наладить дело в институте, подготовить специалистов, он всё больше убеждается в эффективности этого метода, который долгое время не применялся для изучения неорганических соединений, так как отсутствовала хорошо разработанная и строго обоснованная теория анализа ИК-спектров.

Широкая эрудиция и знание фактического материала позволило Александру Сергеевичу по достоинству оценить значение этого метода для минералогии и кристаллохимии и стать не только его популяризатором, но и заняться разработкой общей теории описания ИК-спектров, базирующейся на выяснении функциональной зависимости между характеристическими полосами поглощения и главнейшими кристаллохимическими факторами. Без создания такой теории широкое использование метода было бы невозможно. Существовавшая теория колебательных спектров, опиравшаяся на классическую теорию нормальных колебаний и симметрию кристаллической решетки, давала возможность приближённо анализировать ИК-спектры с учётом только стерических факторов и не учитывала химическую природу соединения, а также взаимосвязь различных структурных элементов.

А.С.Поваренных понимал ИК-спектроскопию как метод, на основании которого можно идентифицировать вещество, и называл его дактилоскопическим (метод отпечатка пальцев). Его использование как экспресс-метода диагностики минералов, а во многих случаях и минеральных смесей, при наличии справочной картотеки эталонных спектров давало возможность успешно и быстро проводить диагностику минералов и, учитывая при этом наглядность метода, во многих случаях судить о причинах, приводящих к отклонениям от идеальной структуры и стехиометрического состава.

Развивавшиеся А. С. Поваренных кристаллохимические основы ИК-спектроскопии давали возможность решить ряд конкретных кристаллохимических и прикладных задач. С помощью ИК-спектроскопии были уточнены форма и строение анионов многих боратов, ванадатов, фосфатов, боросиликатов и фторидов.

Особенно следует отметить работы Александра Сергеевича, касающиеся изучения ИК-спектров в малоизученной из-за трудностей интерпретации длинноволновой области. Он полагал, что распространение метода на этот спектральный интервал имеет принципиальное значение, поскольку в этом интервале поглощают почти все сульфиды и большинство окислов, т. е. только в этом диапазоне можно изучать колебательные спектры минералов этих классов.

Метод ИКС даёт возможность быстро и однозначно определять в структуре минералов координационное число атомов элементов, склонных к его изменению в различных генетических условиях минералообразования (Mg, Zn, Cu, B, Al, Fe, Ti, Si и др.). Легко устанавливается методом ИКС степень упорядоченности расположения атомов в структуре минерала и степень её локального разрушения в результате метамиктного распада. Этот метод дает возможность с уверенностью определять полиморфные виды семейства кремнезёма, двуокиси титана, полевых шпатов, триморфного Al_2SiO_5 и др.

Конечно, в дальнейшем обнаружили и существенные ограничения применения ИКС в минералогии. Сам А.С.Поваренных отмечал, например, что характер предварительной обработки образцов минералов при ИКС-исследованиях может в значительной степени влиять на конфигурацию, интенсивность и спектральное положение отдельных полос поглощения и всего спектра в целом. Поэтому следует проявлять особую осторожность при изучении водородсодержащих минералов, так как слабые водородные связи даже при незначительной механической обработке разрушаются или трансформируются, что сказывается на форме кривой поглощения. Тем не менее с учётом кристаллохимических характеристик изучаемых минералов и особенностей применяемых методик возможна корректная идентификация спектров. Однако даже незначительная механическая, тепловая или химическая обработка минерала может привести к существенным изменениям в его составе и строении, что находит отражение в картине ИК-спектра, и может привести к неправильной диагностике и неверным модельным построениям.

В начале 1970-х годов у Александра Сергеевича родился грандиозный замысел создания по возможности всеобъемлющего справочника-атласа инфракрасных спектров минералов. Рецензируя зарубежную литературу, он хорошо понимал, что в мире уже идёт процесс подготовки таких справочников по различным группам минералов

и вместе с тем улавливал их недостатки, которых, по его мнению, можно было избежать, используя его кристаллохимическую концепцию понимания природы минералов. Трудность задачи заключалась также в том, чтобы собрать максимальное количество минералов, в том числе очень редких. Он полагал, что эта последняя задача, очень трудоёмкая, ему по силам, имея в виду широкие возможности созданной им коммуникационной сети. Но и эта задача потребовала от него максимального напряжения сил. Замысел справочника постоянно расширялся. Во второй половине 70-х годов он считал, что планируемая им работа “Природа химической связи и атлас инфракрасных спектров минералов” будет включать свыше 2000 минеральных видов. В ней помимо кривых поглощения, охватывающих диапазон от 40 до 4000 см⁻¹, будет дан теоретический анализ ИК-спектров с учётом кристаллохимических факторов.

В результате изнурительного поиска ему удалось сформировать уникальное собрание минералов (после его смерти оно было передано в Геологический музей НАН Украины и фундаментально его пополнило).

Со второй половины 70-х годов на подвижнический труд А.С.Поваренных над справочником наложилась тяжёлая болезнь – диабет, которая определила весь драматизм его работы в последнее десятилетие. Он работал в крайнем напряжении, преодолевая тяжкое бремя болезни. Перед ним была цель – завершить колоссальный труд, потребовавший всех его сил. Его проблема заключалась в том, что он был учёным-одиночкой и хотя использовал материал, полученный по ИКС его сотрудниками, но вынужден был всё это самостоятельно перепроверять и доводить до ума. Практически ему удалось сформировать трёхтомник справочника. Особых усилий потребовала теоретическая его часть. Однако судьба работы оказалась драматичной и в итоге безысходной.

Выход в свет этого фундаментального труда мог послужить стимулом для быстрого и широкого проникновения инфракрасно-спектрального анализа в сферу промышленности, закрепит отечественный приоритет в данной области.

Главной проблемой, конечно, оставалась доработка рукописи. Её могли сделать только сотрудники А.С.Поваренных по отделу. Между тем в институте его отдел, как и всё кристаллохимическое направление было ликвидировано. Даже само название института, а “физика

минералов” в этом названии была, несомненно, от концептуальных идей А.С.Поваренных, было изменено – ныне это Институт геохимии и проблем рудообразования. Тут не приходится удивляться и сетовать, так бывает в науке: с уходом лидера замирает и его направление. Речь о другом: если бы была действительная забота о научных приоритетах, разве не следовало бы доработать монографию А.С.Поваренных с помощью его сотрудников, уж потом можно было бы перепрофилировать направление и т. д. Увы, дальше демагогических заявлений о публикации работы дело не пошло. И это несомненный грех института, который нельзя списать на кризис в науке.

Неординарная, масштабная личность А.С.Поваренных проявилась именно в науке, которая заполняла всю его жизнь. Минералы стали его любовью и потребностью, к ним он испытывал не просто исследовательский интерес, но и эстетические чувства. Эта его страсть проявилась в коллекционировании минералов и выросла до понимания их внутренней природы, проявляющейся в свойствах. Его письма с зарубежными коллегами переполнены просьбами прислать минералы, книги, журналы по специальности или по смежным отраслям знаний. Ради этого он шёл на многие жертвы. У него не было ни дачи, ни машины, тратить время на которые он никак не мог. Трудно назвать кого-либо из его современников-учёных, кто бы вёл столь активный поиск в мире информации. Он тратил немалые средства на книги, пластинки, которые посылал своим адресатам в ответ на книги, журналы, минералы, которые получал от них.

Фактически с раннего возраста неотъемлемым его качеством стало стремление отстаивать свои позиции, не идти на компромиссы. Его принципиальность, прямолинейность в условиях, когда многие нормы научного сообщества размывались и испытывали различные деформации, когда компанейщина и круговая порука стали превалировать над профессиональной экспертизой, вызывали раздражение многих кол-



лег по профессии. Но Александр Сергеевич органически не мог не только подползать к кому-то на брюхе, но даже просто политично сдержаться, промолчать в критической ситуации, при оценке тех или иных научных заявлений. Из-за этой несдержанности он нажил себе немало врагов. По любому вопросу, содержательно-научному, организационному у него всегда было своё мнение, которое он не мог не высказать. Его ершистость, несговорчивость проявлялись буквально на каждом шагу и вызывали неприязнь как в среде коллег, так и со стороны управленцев разного уровня.

Александр Сергеевич был человеком большой культуры. Свой научный базис он закладывал на ещё более глубоком культурном фундаменте, унаследованным от семьи и постоянно подновляемом самообразованием. Он самоучкой овладел несколькими языками, его познания в философии были глубоки и оригинальны. Он был знатоком истории литературы и искусства, любил поэзию. Музыка была его второй ипостасью, за ним закрепился авторитет “поющего минералог”, он пел сложные оперные партии, консультировал оперных певцов. Музыка не только доставляла ему удовольствие, отвлекала от невзгод и суеты, но и существенно дополняла и обогащала его исследовательскую устремлённость.

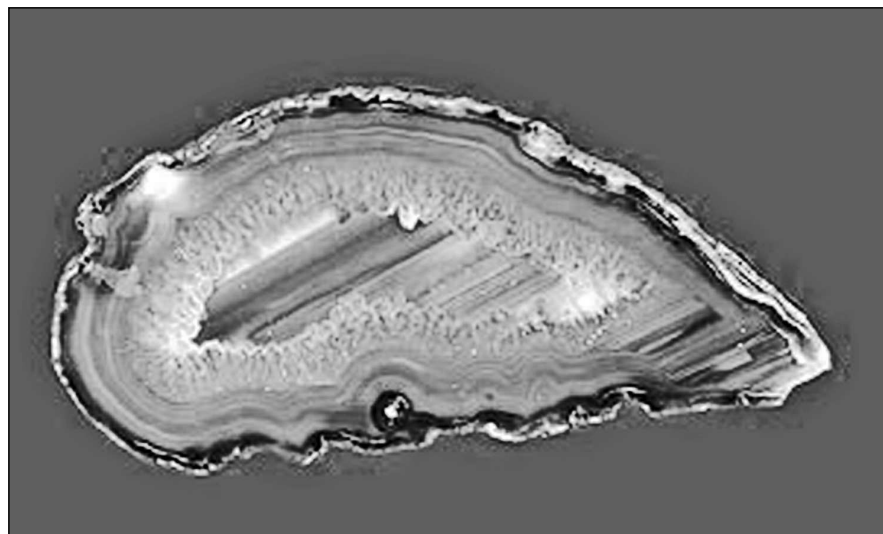
Судьба, труд любого человека носит незавершённый характер. Тем более такого, который ставит перед собой грандиозные цели. Так, случилось и с А.С.Поваренных. Начав путь в науке как теоретик, он постоянно искал метод, который бы помог ему согласовать его теоретические разработки с обширным эмпирическим и экспериментальным материалом. Таким методом для него стала инфракрасная спектроскопия минералов, которая, с одной стороны, позволила ему найти применение его кристаллохимическому подходу к природе минералов, а с другой – накопить беспрецедентный по объёму, по-новому интерпретированный экспериментальный материал по структурам минералов. Это материал представлен в его незавершённом труде “Природа химической связи и инфракрасные спектры минералов”. В эту работу, которую он расценивал как итог всей жизни, он вложил всю энергию своей преданности науке, а также страсть коллекционера минералов, собравшего со всего мира более 2000 образцов, в том числе очень редких минералов. Увы, этот уникальный труд не был издан. Тем не менее А.С.Поваренных хватило воли и энергии, чтобы его путь к познанию природы и свойств минералов был неуклонным.

ФОТОАЛЬБОМ

Из фондов Минералогического музея
им. А.Е.Ферсмана
Российской академии наук



Фото Н.А.Пековой, А.А. Евсеева



Агат. 10 см. Rio Grande do Sul, Бразилия.



Флюорит. Друза зональных кристаллов.
Размер образца 15 см. Китай.



Пироклор. Октаэдрический коричневый кристалл.
Размер образца 8 см. Река Татарка, Енисейский край, Россия.



Форстерит. Зелёный, хорошо огранный кристалл.
Размер образца 4 см. Пакистан.



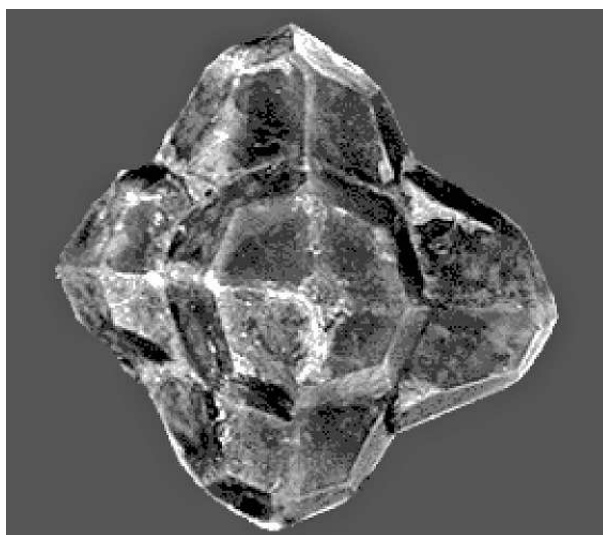
Кальцит. Друза медово-жёлтых кристаллов кальцита внутри раковины двустворки. Размер 9 см. Флорида, США.



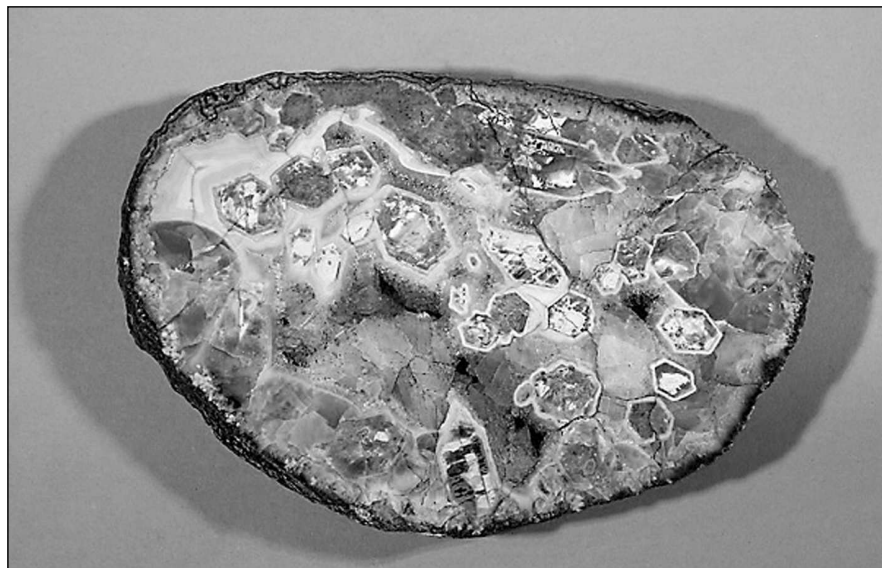
Аметист. Трехглавая аметистовая жеода. Бразилия.
Дар Д.И. Белаковского.
Высота 93 см. Вес 164 кг.



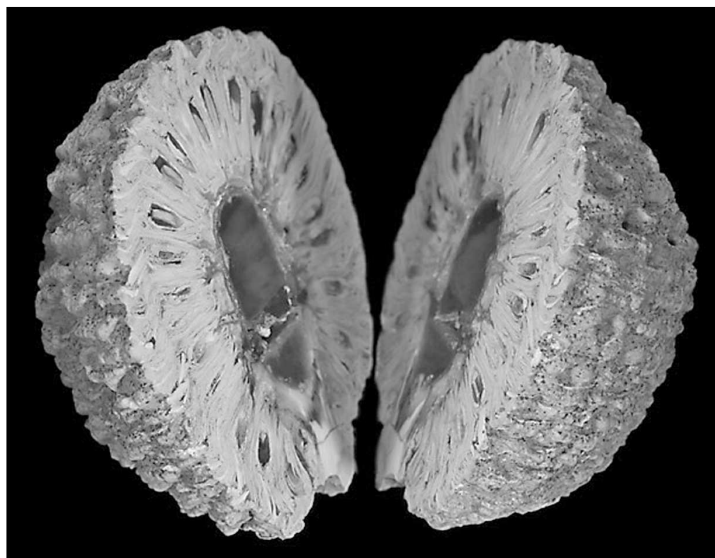
Малахитовая ваза.



Гроссуляр. Сросток кристаллов. Виллой. Якутия.



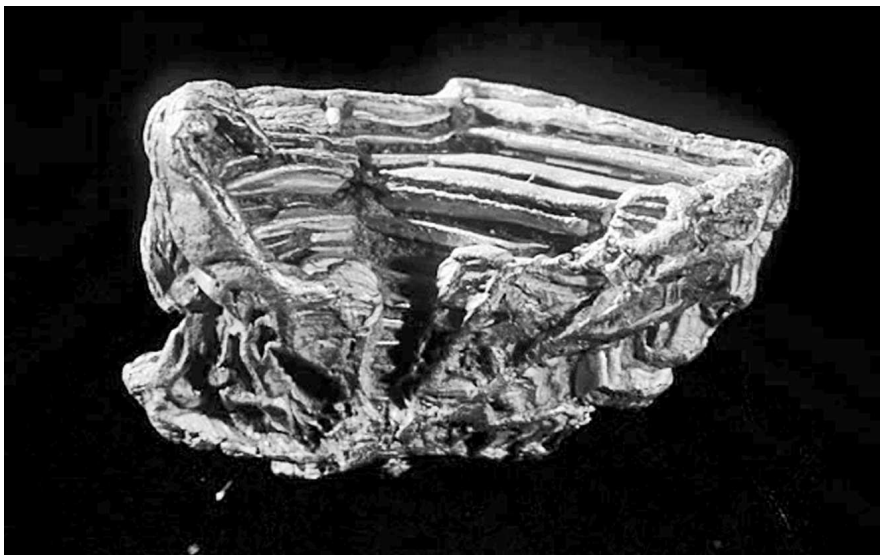
Халцедон по кальциту. Размер 15 см. Камчатка, Россия.



Халцедон. Замещенные халцедоном шишки араукарии.
Размер 6 см. Патагония, Аргентина



Кальцит. Друза медово-желтых
кристаллов кальцита внутри
раковины двустворки. Размер 9 см.
Флорида, США.



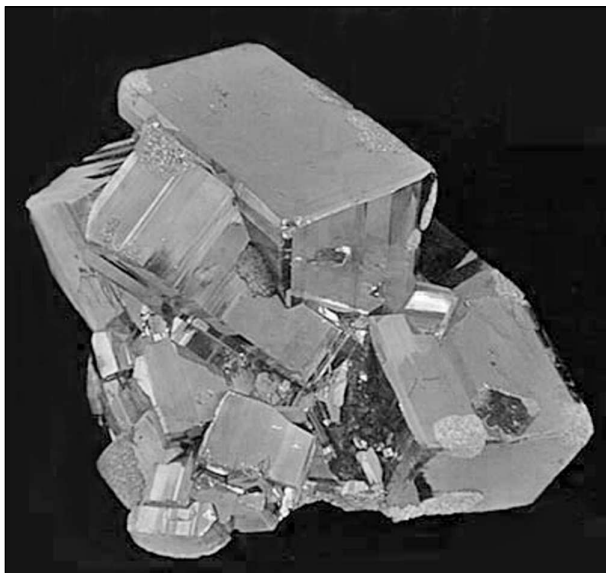
Самородное золото. Самородок.
Березовский завод, Средний Урал, Россия.



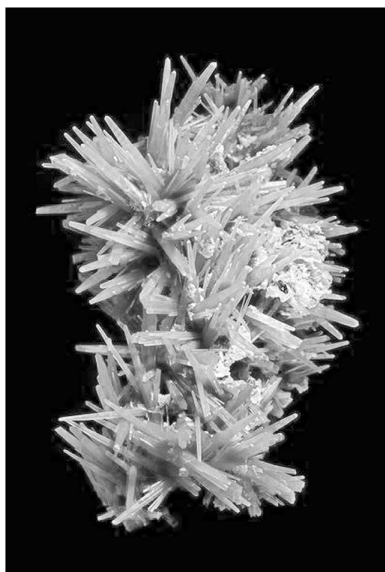
Топаз. Кристалл.
Урульга, Забайкалье.



Последнее императорское
пасхальное яйцо Фаберже
“Цесаревич Алексей”.

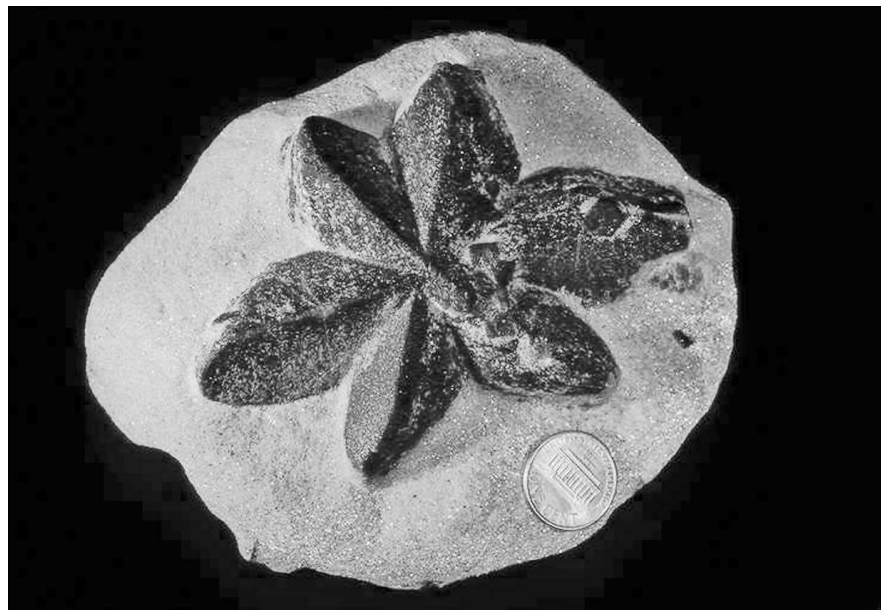
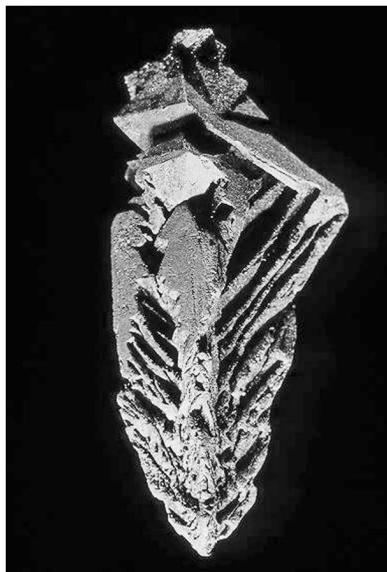


Пирит. Друза кубических с узкими гранями пентагондодекаэдра кристаллов, местами покрытых корочками мелкокристаллического пирита. 18 см. Березовский рудник, Урал, Россия.

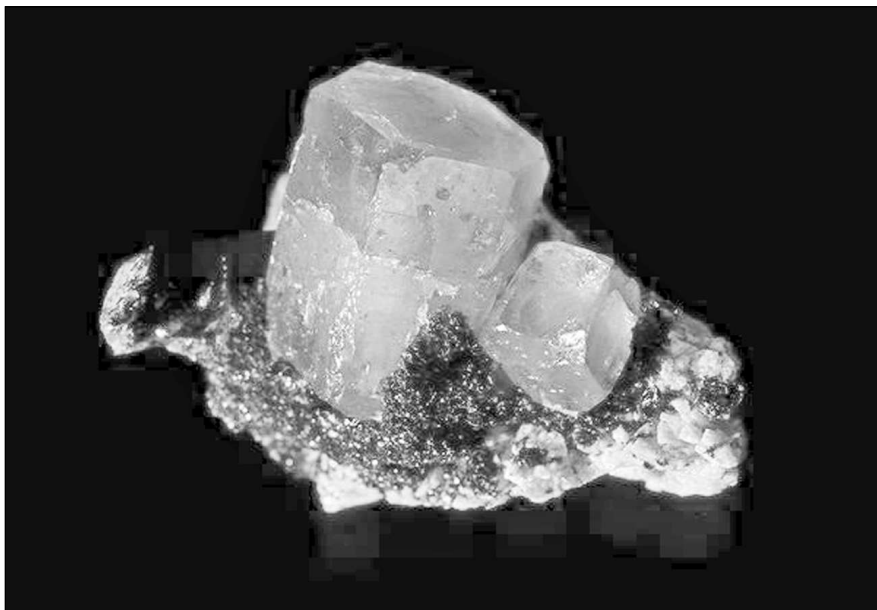


Кварц. Друза вытянутых обелисковидных кристаллов размером до 4х0,5см, окрашенных в красно-оранжевый цвет за счет тонких включений оксидов железа. Размер образца 7 см. 2-й Советский рудник, Дальнегорск, Приморье, Россия.

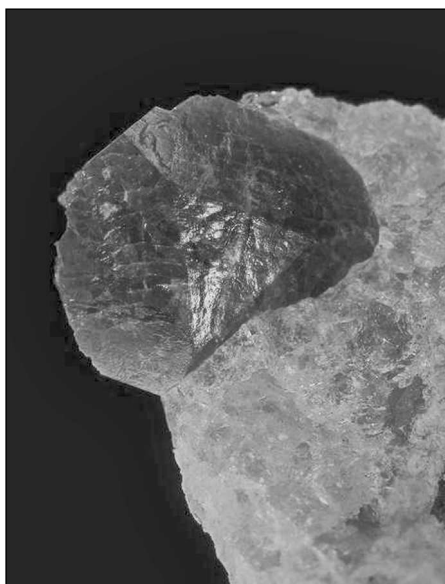
Гематит. Псевдоморфоза по скелетному кристаллу магнетита. Размер образца 7 см. Патагония, Аргентина.



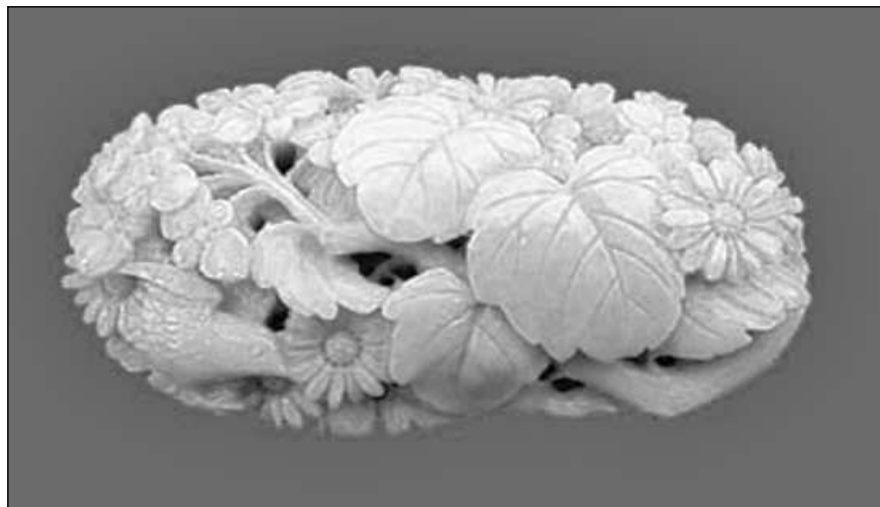
Ставролит. Тройник ставролита в виде шестилучевой звезды (9.5 см) в мусковитовом сланце. Размер образца 13 см. Кейвы, Россия.



Апатит. Размер образца 9 см. Пегматит.
Тарбагатай, Восточный Казахстан.



Стилуэллит-(Ce). Кристалл
размером 2.5 см в кварце. Размер
образца 11 см. Дара-Пиоз, Тад-
жикистан.



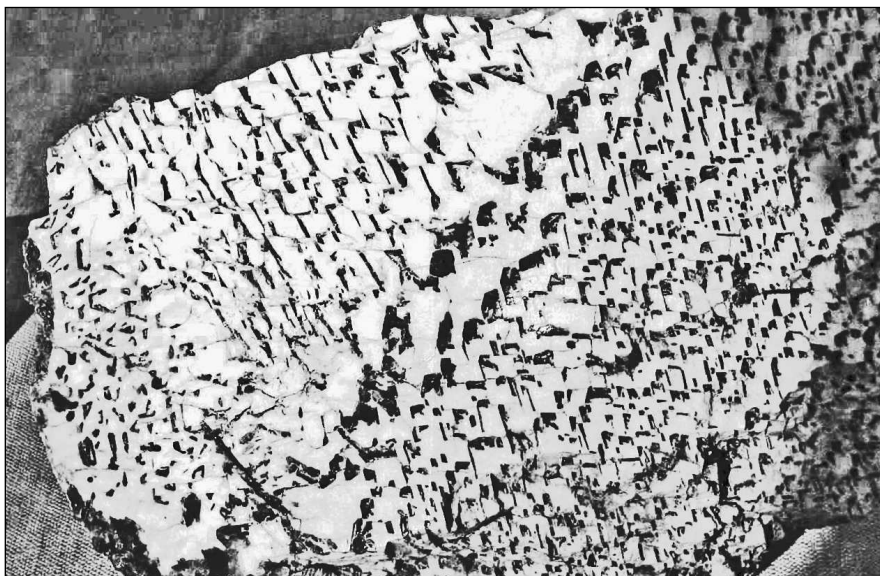
Брошь. Розовый коралл. 5 см.



Берилл. Марианинское месторождение, Забайкалье.



Метеорит Сеймчан.
Дар О.И. Котляр. Размер 90 см.
Вес более 400 кг.

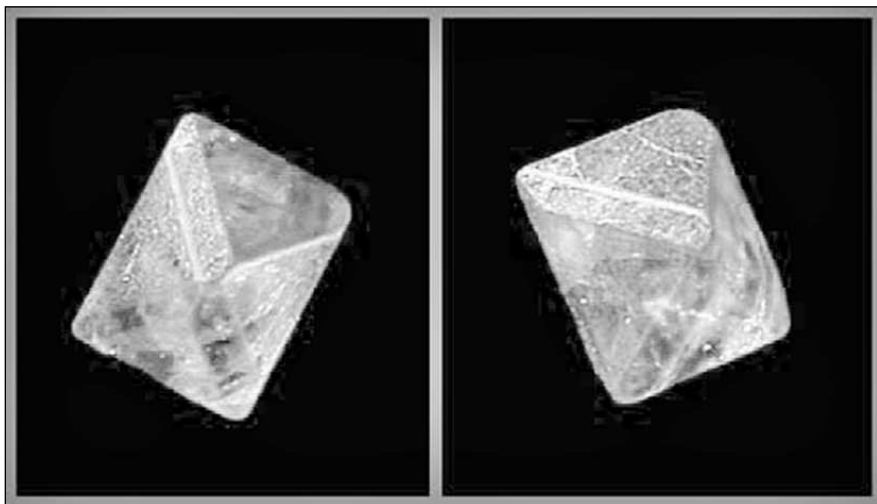


Ортоклаз и кварц (графическая структура). Саханай и Талача,
Восточное Забайкалье, Россия.

Галенит.
Дальнегорск, Приморье,
Россия.



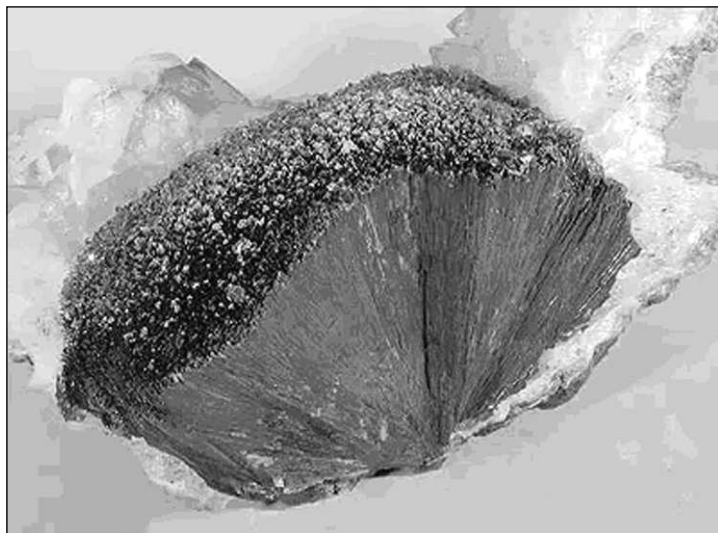
Кварц. Друза вытянутых обелисковидных кристаллов размером до 4х0,5см, окрашенных в красно-оранжевый цвет за счет тонких включений оксидов железа. Размер образца 7 см. 2-й Советский рудник, Дальнегорск, Приморье, Россия.



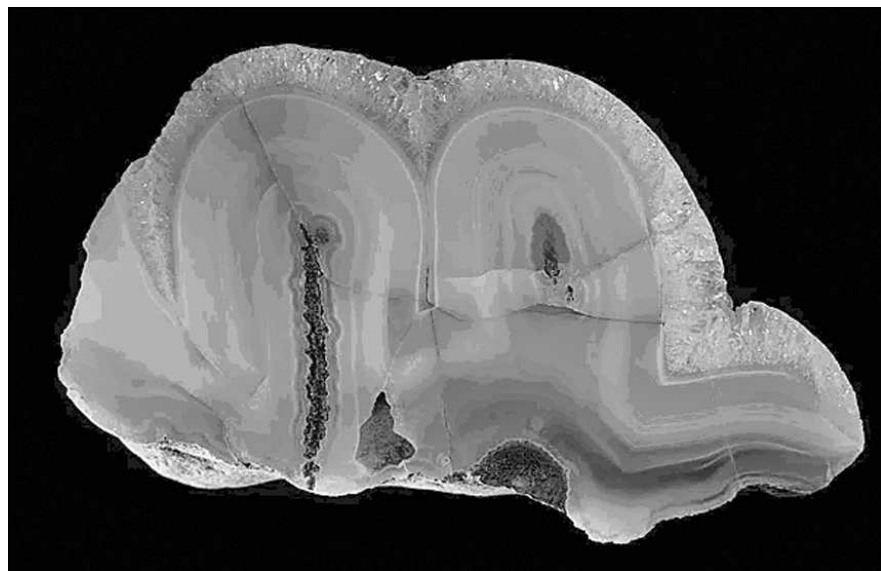
Прозрачный кристалл благородной шпинели. Бирма



Железный метеорит Сыромолотово. Октаэдрит.
Найден в 1873 г. Вес 217 кг.



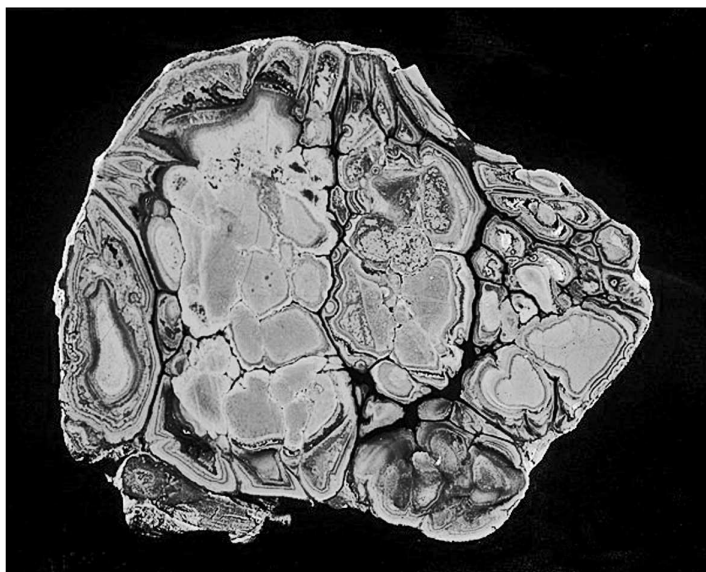
Гётит. Полусферолит радиусом около 8 см, с кварцем.
Размер образца 20 см. Марокко.



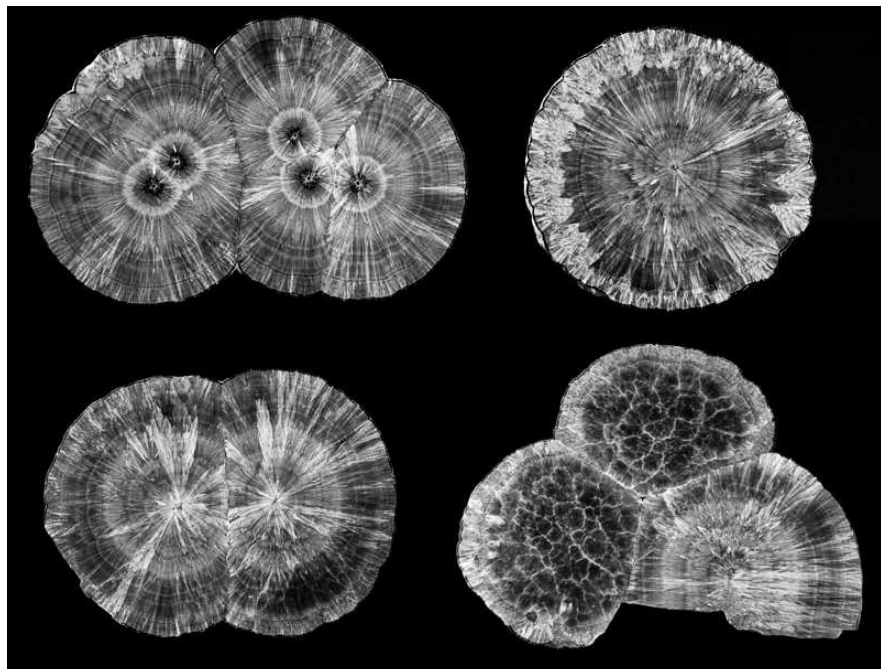
Агат. Кварц-халцедоновые псевдосталактиты. 9 см.
Мыс Теви, Камчатка, Россия.



Аквамарин в кварце.



Варисцит. Конкреция. 10 см. Арканзас, США.



Клинохлор.

Поперечные полированные срезы псевдосталактитов радиально-лучистой и концентрически зональной структуры. Коршуновский рудник, Иркутская область.



Полированная глыба малахита. Гумешевский рудник, Средний Урал.

ЛИТЕРАТУРА

- Булах А.Г.* Общая минералогия. – Спб., 2004. – 356 с.
- Вернадский В.И.* История минералов земной коры. – Пг.: Науч.-хим.-тех. изд-во, 1923. – Т. 1. – Вып. 1. – 208 с.
- Вернадский В.И.* Задачи минералогии в нашей стране (1917-1927) // Природа. – 1929. – № 1. – С. 21-40.
- Гинзбург А.И., Кузьмин В.И., Сидоренко Г.А.* Минералогические исследования в практике геологоразведочных работ. – М.: Недра, 1981. – 240 с.
- Григорьев Д.П.* Онтогенез минералов: Индивиды. – М.: Наука, 1975. – 340 с.
- Григорьев Д.П., Шафрановский И.И.* Выдающиеся русские минералоги. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – 275 с.
- Жабин А.Г.* Жизнь минералов. – М.: Сов. Россия, 1976. – 224 с.
- Жабин А.Г.* Онтогенез минералов: Агрегаты. – М.: Наука, 1979. – 275 с.
- Жариков В.И.* Некоторые актуальные проблемы экспериментальной минералогии // Зап. Всесоюзн. минер. о-ва. – 1976. – Ч. 105. – Вып. 5. – С. 543-561.
- Кораго А.А.* Введение в биоминералогия. – СПб.: Недра, 1992. – 280 с.
- Кулиш Е.А., Оноприенко В.И.* Владимир Васильевич Аршинов и его институт // Минералогический журнал. – 2009. – Т. 31. – № 4. – С. 91-98.
- Кулиш Е.А., Оноприенко В.И.* Из истории освобождения отечественной промышленности от импорта минерального сырья. – К.: Информационно-аналитическое агенство, 2010. – 80 с.
- Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества. – СПб.: Наука, 2005. – 581 с.
- Оноприенко В.И., Поваренных М.Ю.* О сущности минерала // Геол. журн. – 1986. – № 5.

- Оноприенко В.И., Оноприенко М.В.* Александр Сергеевич Поваренных. – М.: Наука, 2004. – 330 с. (Серия РАН “Научно-биографическая литература”).
- Поваренных А.С.* Что такое минерал? (В связи со статьей Д. П. Григорьева) (Григорьев Д.П. Что такое минерал? // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. – 1961. – Ч. 90.- Вып. 4) // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. – Ч. 91. – Вып. 4. – С. 493–498.
- Поваренных А.С.* Твёрдость минералов. – К.: Изд-во АН УССР, 1963. – 307 с.
 Рец.: *Костов П. А.С.* Поваренных. Твёрдость минералов // Списания на Българ. геол. дружество. – 1964. – Т. 25. – Кн. 3. – С. 314–315;
 Рец.: *Марфунін О. С.* Про монографію О. С. Поваренних “Твердість мінералів” // Геол. журн. – 1966. – Т. 23. – Вип. 5. – С. 101–102;
 Рец.: *Шафрановский И. И.* О книге А. С. Поваренных “Твёрдость минералов” // Конституция и свойства минералов. – 1967. – Вып. 2. – С. 180–182.
- Поваренных А.С.* Кристаллохимическая классификация минеральных видов. – Киев: Наук. думка, 1966. – 547 с.
 Рец.: *Fisher D. J.* Crystallochemical classification of mineral species, by A.S. Povarennykh // Amer. Mineral. – V. 52. – N 5–6. – P. 931–932.
- Поваренных О.С.* Академік Володимир Іванович Вернадський // В.І.Вернадський. Вибрані праці. – К.: Наук. думка, 1969. – С. 9–21.
- Поваренных А.С.* О значении определения понятий и терминологии для развития науки (на примерах минералогии) // Диалектика развития и теория познания в геологии. К.: Наук. думка, 1970. – С. 5–30.
- Поваренных А.С.* О субординации существенных признаков в схеме современной классификации минералов // Диалектика развития и теория познания в геологии. – К.: Наук. думка, 1970. – С. 31–40.
- Povarennykh A.S.* Crystal-chemical classification of minerals. – Vol. 1–2. – New York: Plenum Press. – Vol. 1. – 458 p.; Vol. 2. – 762 p.
 Рец.: *Moore P.B.* Crystal Chemical Classification of Minerals. Vol. 1 and 2. By A.S.Povarennykh // Amer. Mineral. – V. 58. – N 9–10. – P. 968–969.

- Поваренных А.С.* Минералогия // История геологии. – М.: Наука, 1973. – С. 86–90, 142–148, 236–246.
- Поваренных А.С., Оноприенко В.И.* Минералогия: прошлое, настоящее, будущее. – Киев: Наук. думка, 1985. – 160 с.
 Рец.: *Груза В.В.* Пограничные прошлого с грядущим // Природа. – 1986. – № 4. – С. 120–123.
 Рец.: *Коновец А.Ф.* Исторические аспекты минералогии // Геол. журн. – 1986. – Т. 46. – № 5. – С. 131–133.
- Поваренных А.С.* Важнейшие проблемы современной минералогии // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. Ч. 106. Вып. 1. С. 6–16.
- Поваренних О.С., Онопрієнко В.І.* Методологічні питання сучасної мінералогії // Вісник АН УРСР. – 1982. – № 8. – С. 42–51.
- Поваренных А.С.* Александр Евгеньевич Ферсман (К 100-летию со дня рождения) // Минер. журн. Т. 5. № 5. С. 3–14.
- Станкеев Е.А.* Генетическая минералогия. – М.: Недра, 1986. – 272 с.
- Старостин В.И.* Металлогения. – М.: Книжный дом “Университет”, 2012. – 560 с.
- Ферсман А.Е.* Достижения советской минералогии и геохимии за последние годы (1929–1934 гг.). – Л.: Изд-во АН СССР, 1935. – 102 с.
- Шафрановский И.И.* История кристаллографии с древнейших времен до начала XIX столетия. – Л.: Наука, 1978. – 295 с.
- Шафрановский И.И.* История кристаллографии XIX в. – Л.: Наука, 1980. – 324 с.
- Юшкин Н.П.* Теория и методы минералогии. – Л.: Наука, 1977. – 292 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
МИНЕРАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ ЭВОЛЮЦИИ МАТЕРИИ.....	7
Что такое минерал?.....	12
Минеральные виды, индивиды и агрегаты.....	22
Классы минералов.....	32
МИНЕРАЛОГИЯ В РЕТРОСПЕКТИВЕ.....	39
Из предыстории минералогии.....	40
Этапы развития минералогии.....	43
Классики науки о кристаллах и минералах.....	72
Школа минералогов В.И.Вернадского в Московском уни- верситете.....	104
А.Е.Ферсман как минералог и поэт камня.....	130
Институт прикладной минералогии и его опыт в современ- ной ситуации.....	149
Из истории изучения инфракрасных спектров минералов.....	175
МИНЕРАЛОГИЯ В ПЕРСПЕКТИВЕ.....	181
Структура и методы современной минералогии.....	182
Кристаллохимическая природа минералов (по А.С.Поваренных).....	187
Минералы во времени и пространстве.....	195
Резервы прогресса.....	203
Биоминералогия.....	204
Экспериментальная и технологическая минералогия.....	215
Наноминералогия.....	222
Геммология: симбиоз искусства, технологии и коммерции.....	231
ПАМЯТИ А.С.ПОВАРЕННЫХ.....	243
ФОТОАЛЬБОМ.....	268
ЛИТЕРАТУРА.....	286

Онопрієнко Валентин.

Мінералогія. Екскурси в минуле і майбутнє. – Київ: Інформаційно-аналітичне агенство, 2012. – 291 с., іл.

Одна з найдавніших наук – мінералогія – в XX столітті пережила друге народження в зв'язку з проникненням в неї методів точних наук, переосмисленням її основ з позицій кристалохімії, розширенням об'єктів дослідження. Протягом багатовікової історії мінералогія суттєво вплинула на формування і розвиток багатьох наукових дисциплін. У книзі в популярній формі дан загальний абрис мінералогії як науки, її історії, основних напрямків, досягнень, актуальних проблем. Аналізуються особливості мінерального рівня еволюції матерії, етапи розвитку науки про кристали і мінерали, досягнення і школи мінералогії, сучасний стан мінералогічних досліджень, проблеми та перспективи експериментальної, технологічної, біо-і наномінералогії, гемології.

Onopriyenko Valentin.

Mineralogy. Excursions into the past and the future. – Kiev: Information-analytical agency, 2012. – 291 p., ill.

One of the oldest sciences, mineralogy in the 20th century experienced a second birth. It was connected with the intrusion into it of exact sciences methods, rethinking of its foundations in terms of crystal chemistry and the expansion of research facilities. Throughout the long history mineralogy significantly affected the formation and development of many scientific disciplines. The book in a popular form provides a general outline of mineralogy as a science, its history, the main directions, achievements, current problems. There are analysed features of the mineral level of the evolution of matter, stages of development of the science of crystals and minerals, the achievement and Schools of the national mineralogy, the present state of mineralogical studies, problems and prospects of experimental, technological, biological mineralogy and nanomineralogy, gemmology.

Научно-популярное издание

Оноприенко Валентин Иванович

МИНЕРАЛОГИЯ. ЭКСКУРСЫ В ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ

*К 150-летию со дня рождения **В.И.Вернадского**
к 130-летию со дня рождения **А.Е.Ферсмана**
к 100-летию со дня рождения **А.С.Поваренных***

Компьютерный набор автора

Компьютерна вёрстка,
оригинал-макет, обложка Н.И.Жабиной

Подписан в печать 23.10.2012 г.

Формат 60x84^{1/16}. Гарнитура Таймс

Услов. печ. л. 16,97. Учет.-изд. л. 18,36.

Тираж 300 экзем. Зак. № 137.

ГП “Информационно-аналитическое агентство”

ул. Еспланадна 4-6, г. Киев, 01601, Украина

тел/факс 287-03-79, 289-77-62

E-mail: iaa@dstati.kiev.ua