



Академия наук СССР
Коми филиал

НАУЧНЫЕ ДОКЛАДЫ

№ 19840005

Н.П.Юшкин

ИСТОРИЯ МИНЕРАЛОГИИ И ЭВОЛЮЦИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИДЕЙ

Академия наук СССР
Коми филиал
Серия препринтов "Научные доклады"
Выпуск 102

Н.П.Юшкин

ИСТОРИЯ МИНЕРАЛОГИИ И ЭВОЛЮЦИЯ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИДЕЙ

Доклад на заседании Президиума
Коми филиала АН СССР
26 июля 1984 г.



Сыктывкар 1984

ИСТОРИЯ МИНЕРАЛОГИИ И ЭВОЛЮЦИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИДЕЙ. Юшкин Н.П. Серия препринтов "Научные доклады". Коми филиал АН СССР, 1984, вып. 102, с. 52.

На основе количественного структурного анализа минералогической науки на разных исторических срезах и исследования эволюции важнейших минералогических идей устанавливаются общие закономерности развития минералогии, изменения понятий об ее объектах, обосновывается периодизация минералогии. Особое внимание уделено проблеме исторической обусловленности современной минералогической теоретико-методологической системы, раскрыты важнейшие особенности современной минералогии, тенденции ее дальнейшего развития,

THE HISTORY OF MINERALOGY AND THE EVOLUTION OF FUNDAMENTAL MINERALOGICAL IDEAS. Yushkin N.P. Series of pre-prints "Scientific reports", Komi branch of USSR Academy of Sciences, 1984, Issue 102, pp. 52.

On the basis of quantitative structural analysis of mineralogical science on the different historical levels of investigation of evolution of the main mineralogical ideas the common regularities of development of mineralogy and change of definitions of mineralogical objects are stated and periodization of mineralogy is given. The main attention is paid on the problem of historical causality of the modern theoretical-methodological system. General features of modern mineralogy and tendencies of its further development are shown.

Редакционная коллегия

М.П.Рошевский (отв. редактор), Е.П.Калинин (отв. секретарь),
И.В.Забоева, Ю.И.Калимов, В.П.Подоплелов, Н.Н.Рочев,
Н.И.Тимонин, М.В.Фишман

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими задачами исторических исследований естествознания являются установление общих закономерностей появления и утверждения научных идей, смены руководящих научно-методологических концепций (парадигм), определение главных внешних и внутренних факторов эволюции науки, ее движущих сил, прослеживание смены практических функций. История науки — это первая ступенька к теории развития науки.

Все сказанное в полной мере относится и к минералогии, на особую актуальность исторических исследований в которой неоднократно указывали выдающиеся минералоги, сами вложившие немалый вклад в анализ истории минералогического знания, — Н.И.Кокшаров, Ф.Кобель, В.И.Вернадский, А.Е.Ферсман, П.Грот, П.Ниггли, А.К.Болдырев, Х.Штрунц, Х.Терч, И.И.Шафрановский, Г.Г.Леммлейн, Д.П.Григорьев, А.С.Поваренных, Н.В.Белов и др.

Минералогия не располагает пока фундаментальными всеобъемлющими трудами по ее истории от зарождения до ныне, какими по праву гордятся, например, физика, химия, биология или кристаллография, но это совсем не значит, что исторические исследования в ней не ведутся. Есть целый ряд крупных работ по отдельным периодам развития минералогической науки, преимущественно ранним, по истории отдельных ее направлений или истории минералогии в отдельных странах [2, 3, 12, 21, 35, 38, 41, 43-45, 52, 57, 60-65, 67, 69 и др.]. Хорошие полные очерки истории минералогического знания содержатся в трудах по истории геологии [7, 15, 16, 36, 37], а также в монографиях и учебниках по общей минералогии [8, 23, 28, 32 и многие другие]. Особенно обстоятельный творческий анализ эволюции минералогического знания сделан А.С.Поваренных в его "Кристаллохимической классификации минеральных видов" [28] и серии статей [29-31 и др.]. Нужно отметить ряд интересных и важных работ и других авторов [33, 68]. Большинство выдающихся минералогов удостоены монографических персоналий: только в СССР в послевоенные (с 1945) годы опубликованы научные биографии Г.Агриколы, Я.Берцелиуса,

Бируни, А.Брейтгаупта, В.И.Вернадского, А.Вернера, А.В.Гадолина, Р.Ж.Гаюи, А.К.Болдырева, Ж.Бюффона, Ибн Сины, А.М.Карамышева, И.Кеплера, Н.И.Кокшарова, Э.Г.Лаксмана, К.Линнея, М.В.Ломоносова, Ф.Г.Моисеенко, В.М.Севергина, Д.И.Соколова, Н.Стенона, Е.С.Федорова, Н.М.Федоровского, А.Е.Ферсмана и многих других минералогов.

В этой работе мы попытаемся проследить эволюцию внутренней структуры минералогии, проанализировать причины зарождения, судьбу и следствия ряда фундаментальных минералогических идей, в первую очередь идей продуктивных, на которых строится теоретическая концепция современной минералогии, которые составляют основание современной системы минералогического знания. Этот анатомический анализ сочетается с анализом структуры минералогического знания на различных исторических срезах, в который вводятся элементы количественной оценки, и сравнительно-историческим анализом структуры минералогии. Синтезируя результаты этих исследований мы попытались на новой фактической основе подойти к оценке особенностей эволюции минералогического знания и периодизации минералогии.

Конечно, относительно небольшой объем работы позволяет обсудить лишь некоторые результаты наших исследований, изложенные здесь довольно фрагментарно. Мы благодарны И.И.Шафрановскому, Д.П.Григорьеву, В.И.Онопrienко, К.П.Янулову и другим коллегам за ценные советы при обсуждении рассматриваемых здесь вопросов.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИСТОРИИ МИНЕРАЛОГИИ

. Любая история, в том числе и история науки, творится делами огромной армии тружеников, имена большинства которых полузабыты или вообще ушли в неизвестность, но добытые ими новые знания остаются в фундаменте науки и влияют на развитие научных представлений. Время от времени история выдвигает особенно крупных ученых, которым удается не просто продолжить добычу знаний, но и вскрыть принципиально новые общие законы природы, определить новые горизонты развития науки. Такие ученые подобны маякам, трассирующим исторический путь науки, в том числе и минералогической, и последовательно перечислив их вместе с их главнейшими делами, мы можем наиболее кратко и емко "высветить" основной тренд эволюции минералогического знания и выразить квинтэссенцию ее исторических этапов (в периодизации А.С.Поваренных) [28].

В преисторический период, длившийся до середины ХУІ в., когда человек по сути дела еще только учился ориентироваться в мире окружающих его природных тел, начинал разбираться в их генетическом и физическом многообразии, в качестве исторических вех следует упомянуть труды Аристотеля (384-322 гг. до н.э.) не только разделившего природу на мир животных, растительный и минеральный, но и минеральные тела — на камни и руды; его ученика Теофраста, отразившего в своем трактате "О камнях" общий уровень знания наших далеких предков о полутора-двух десятках минералов; Плиния Старшего, давшего систему и динамическую, хотя местами и полуфантастическую, картину минерального мира; Бируни (978-1048), еще более усовершенствовавшего описание все расширяющегося круга минералов и минеральных тел (около 300), наметившего ряд генетических концепций, и самое главное — включившего в минералогический трактат методы исследований, многие из которых чуть ли не в том же виде применяются и теперь; наконец, Г.Агриколу (1494-1555), отсепарировавшего из древних трудов и средневековых полумистических лапидариев все наиболее достоверные данные о минералах, разделившего минеральные вещества на собственно минералы и агрегаты и создавшего на основе рассуждений предшественников и собственных наблюдений оригинальную генетическую концепцию минералобразования.

В физический, физико-морфологический период [28, 29], или

период становления минералогии как науки [33] (вторая половина XVI — начало XIX в.), когда с легкой руки Агриколы главенствующей стала идея о минералах как однородных физических телах, и основные исследования были направлены на изучение формы, свойств минеральных индивидов и поиски в этом определенных закономерностей, важнейшую роль сыграли труды А.Г.Вернера, Р.Ж.Гаюи, Ж.П.Роме Делиля, Х.С.Вейсса, Ф.Мооса, Гесселя, Н.И.Кокшарова и, конечно же, их предшественников: И.Кеплера и Н.Стенона.

В следующий, химический [28] или описательный [33] период (XIX в. — 20-е гг. XX в.), характеризующийся мощнейшим прогрессом в изучении химического состава вещества и химических процессов и перестройкой минералогии на химическую основу, наиболее крупный вклад внесли исследования и обобщения В.Волластона, М.В.Ломоносова, Я.Берцелиуса, В.М.Севергина, А.Брейтгаупта, Д.Дэна, К.А.Дельтера, Д.И.Менделеева, В.И.Вернадского, А.Е.Ферсмана, В.М.Гольдшмидта и многих других.

Наконец, кристаллохимический период (с 20-х гг. этого века по настоящее время) развития минералогии, обязанный в первую очередь основополагающим теоретическим трудам Е.С.Федорова о кристаллическом строении вещества и разработке методов рентгеноструктурного анализа на основе открытия М.Лауэ, отмечен выдающимися трудами по расшифровке структур минералов У.Г. и У.Д.Бреггов, Р.Уайкова, Л.Полинга, У.Г.Тейлора, П.В.Белова, Г.Б.Бокия и других, и крупным вкладом в развитие минералогической теории и практики, внесенными П.Гротом, А.К.Болдыревым, А.Н.Винчеллом, П.Ниггли, Х.Штрунцем, Д.П.Григорьевым, Е.К.Лазаренко, В.С.Соболевым, И.Костовым, А.С.Поваренных, А.И.Гинзбургом и др.

Таким образом, главнейшие научные достижения в истории минералогии можно проиллюстрировать относительно небольшой "обоймой" замечательных имен: Теофраст — Плиний — Бируни — Агрикола — Вернер — Гаюи — Кокшаров — Берцелиус — Вернадский — Гольдшмидт — Федоров — Ферсман — Брэгги — Соболев — наших великих современников (но именно проиллюстрировать, а не выразить, так как наряду с этими именами с тем же или почти тем же правом можно поставить и десятки других). Эти имена — своеобразные "точки роста" минералогического знания или "узловые пункты" развития минералогии.

ОБЪЕКТЫ, ПРЕДМЕТ И СТРУКТУРА СОВРЕМЕННОЙ МИНЕРАЛОГИИ

Важнейшая особенность развития фундаментальных идей заключается в том, что на каком бы историческом этапе они ни зародились, какие бы метаморфозы на пути своего развития не испытали, они обязательно в том или ином виде входят в современную теорию минералогии и играют в ней важную роль, отличаются существенными прикладными следствиями. Следовательно, в современной структуре минералогии отражаются идейные достижения всего исторического пути ее развития.

Сущность современной парадигмы минералогии [26, 46, 48] сводится к следующему. Объектом минералогической науки являются минералы, вся совокупность которых образует минеральный уровень структурной организации природы. Специфическую черту структур минерального уровня выражает кристаллическое состояние (дальний порядок, трехмерная неограниченная регулярность в распределении составляющих минерал атомов), определяющее свойства, законы функционирования и методы исследования минеральных систем.

Внутренняя структура минералогической науки **определяется** спецификой минералогических объектов. Элементарной **минеральной системой**, на которой базируется все минералогическое знание, является дискретная форма **существования** минерала — минеральный индивид. Существующее разнообразие минералогических направлений связано с различными познавательными подходами к минеральному индивиду. Анализ структуры минералогии вскрывает пять подходов, в которых четко выступают несколько относительно самостоятельных направлений (рис.1).

Теория и методический аппарат минералогии базируются не на каких-то отдельных, субъективно выбранных позициях, а на органическом единстве конституционного, системного, **синминералогического**, топоминералогического, генетического и даже утилитарного принципов.

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ОБЪЕКТАХ МИНЕРАЛОГИИ И РОСТ ФОНДА МИНЕРАЛОВ

Анализ развития представлений об объектах минералогии дает-ся во многих исторических [1, 67 и др.] и теоретических [28-30,

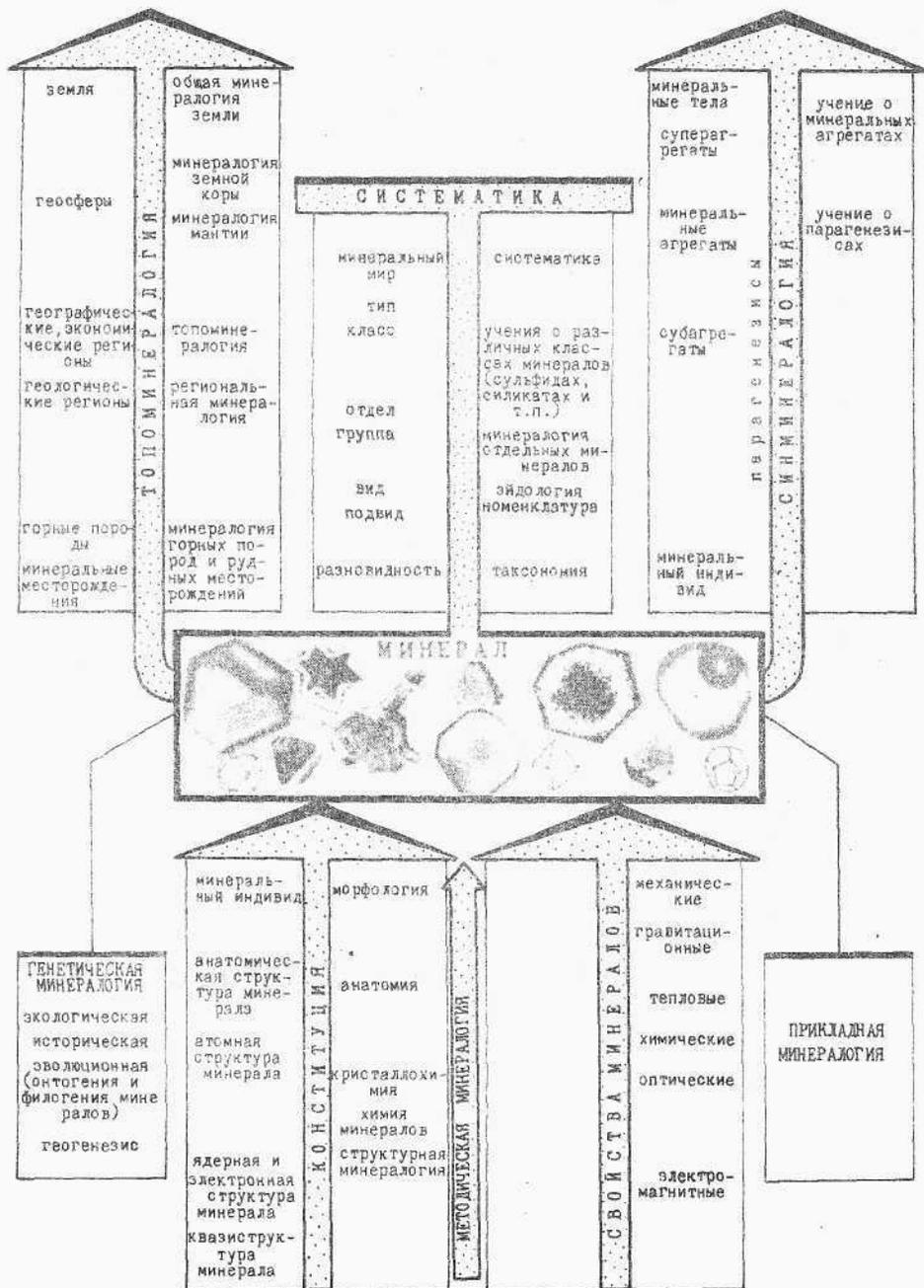


Рис. 1. Главнейшие направления современной минералогии.

Fig. 1. Main directions of modern mineralogy.

46 и *яр.*] работах, поэтому мы подчеркнем лишь самые важные моменты.

Минералогия как наука зарождалась и развивалась из той области донаучного естествознания, объектом исследования которой были любые ископаемые тела — камни и земли. Протоминералогия была, следовательно, камневедением, причем наряду с естественными ископаемыми телами в число ее объектов входили и многие технологические продукты — металлы, сплавы, эмали, стекла, керамика, краски и другие, так что представление о "минерале" (хотя самого понятия и термина "минерал"* тогда еще не существовало) было исключительно широким.

• Конкретизация полей охвата минералогии от всего неживого мира до природного кристаллического вещества, до минерального мира в его современном понимании определялась углублением знаний об ископаемых телах, раскрывающих их неоднородную структурную и генетическую природу, совершенствованием классификаций минеральных тел. Следствием сужения границ минералогии являются ее дифференциация и формирование новых естественных наук на "отвергнутых" минералогией объектах (рис.2).

Фонд объектов минералогии в ее камневедческий период был невелик. К моменту появления письменности человек, очевидно, умел различать несколько десятков минералов и пород и пользоваться ими. В китайских, индийских, древнегреческих источниках, в трудах арабских ученых обычно упоминается или характеризуется 30-40 минералов и их разновидностей. Теофраст (372-287 гг. до н.э.), например, в своем трактате "О камнях" приводит названия 73 минеральных веществ, в том числе 32 минеральных видов и разновидностей, Плиний Старший (23-79 гг. до н.э.) — 41 минерального вида и разновидностей, Бируни (973-1048 гг. н.э.) — около 100 веществ, в том числе 36 минералов и разновидностей. Этот минеральный фонд сохраняется и в средневековых лапидариях, увеличиваясь в самом конце XV в. примерно до 300 ископаемых веществ различной природы, но число характеризуемых минеральных видов и разновидностей остается на уровне 50-60. В лапидарии Камилла, опубликованном в 1502 г. содержится характеристи-

* Термин "минералогия", как считает Ф.Адамс [52], впервые был введен в науку в 1636 г. итальянским естествоиспытателем Бернардом Цезием из Модены в его сочинении [58], а в англоязычной литературе укрепился только с 1690 г., хотя слово "минерал" в применении к рудам упоминается в источниках на латинском языке в XII в. [60]. До этого руды назывались обычно словом "metalium", а нерудные минералы и породы — "lapis". Термин "минералог" известен с 1646 г. [56].

ка 279 веществ, в лапидарии Альфонго (1476-1569) — 360.

Аристотель впервые обратил внимание на структурную неоднородность ископаемых тел и разделил каменный мир на два класса: — камни (*орохта*), — руды (*ц.ега\Хег>та*), а его ученик Теофраст на три: — металлы, — камни обычные и драгоценные, — земли, причем он пытался ввести и внутриклассовые подразделения минеральных веществ по плотности, отношению к огню, практическому применению. Эти представления об объектах минералогии просуществовали с некоторыми изменениями более тысячелетия, пока среднеазиатский ученый Абу Али Ибн-Сина (980-1037) не предложил новую классификацию каменного мира, которой была уготовлена столь же долгая жизнь, подразделив ее на: камни, плавкие тела (металлы), серы (горючие тела), соли, растворимые в воде.

С классификации Ибн.Сины, существенно усовершенствованной Г.Агриколой [1], развилась научная минералогия, начало которой можно условно отметить рубежом XV-XVI вв. Благодаря развитию физических методов исследования минералов резко расширились знания о минеральном мире, о его сложной структуре. Для его характеристики Г.Агрикола, упоминающий в своих трудах более 100 минеральных веществ, вынужден прибегнуть уже к многоступенчатой классификации. Он разделяет минеральные вещества на вытекающие из земли (жидкие и газообразные) и твердые. Среди твердых минеральных веществ различаются однородные и разнородные, а среди однородных — простые (земли, загустевшие соки жирные и тощие, камни, металлы) и смеси. Внутри этих подгрупп вводится еще несколько ступеней деления. Следовательно, Агрикола своей классификацией уловил не только структурную сложность каменного мира, но и существование в нем иерархии структурных уровней — уровня минералов и пород, хотя и не выразил это четко.

Качественное совершенствование знаний о минералах в XVI-XVII — первой половине XVIII в. сопровождалось дальнейшими поисками закономерностей в его строении и происхождении и попытками создания классификаций на различной основе: по отношению к огню (Бахор, 1664 г.), кислотам, по морфологии, физическим свойствам и т.п. Но в качестве ведущей развивалась и усложнялась ибн-сина-агриколовская классификация. Некоторыми авторами в классификации вносились и элементы химизма, в результате они становились довольно сложными и громоздкими, как например, опубликованная в 1747 г. классификация И.Г.Валлерия (русский перевод "Минералогии" И.Г.Валлерия вышел в свет в

1763 г.). В ней выделено 80 родов, включающих 488 различных по природе ископаемых тел, в которых к собственно минералам можно отнести лишь 52.

Зарождение в морфологическом описании точного кристаллографического направления (Ж.Б.Роме Делиль, Р.Ж.Гаюи, А.Г.Вернер), уточнение физических свойств с переходом на количественную основу, химизация минералогии (М.В.Ломоносов, А.В.Кронштедт, Т.Бергман, В.М.Севергин) привели к тому, что из мира минеральных тел стали выделяться собственно минералы, в понятии, близком к современному, т.е. определенные химические соединения, способные существовать в виде индивидов с определенной формой и свойствами. Особенно четко это подчеркнул А.Г. Вернер, который творчески воспринял и развил в своем учении идеи К.Линнея не только о классификации минералов, но и о разделении живого мира на классы [19], и по сути дела с 1777 г. минералогия вошла в русло науки о минералах.

Конкретизировалось и само понятие минерала.

Например, цитировавшийся уже И.Г.Валлерий (1763) понимал минерал в соответствии со знаниями своего времени очень широко; "Минералы . . . надлежат до Минералогии, которая есть знание о телах смешанных, составленных и неорганических, кои непрестанно увеличиваются или растут, не имея во внутренних частях своих или трубках и жилах ни какого соку" (с.4). Г.Фишер [39] в 1818 г. в понятие "минерал" вкладывает уже другой смысл: "Минералами называются камни, соли, воспламеняемые, металлы и притом простые, не сложные, т.е. не через скопление составленные (non aggregata)" (с.4).

В результате столь четкой конкретизации представлений в минералогии в конце XVIII- начале XIX в. сформировались автономные направления: собственно минералогическое — ориктология, ориктогнозия, геолого-петрографическое — геогнозия, палеонтологическое - петроматогнозия, палеонтография. Все они развились в самостоятельные науки, которые "ответвились" от минералогии в геологию (1780-1800 гг.) и палеонтологию. В 50-70-х гг. XIX в. минералогия и геогнозия породили петрографию, а в самом конце XIX в. из минералогии выделилось (как самостоятельная наука) учение о месторождениях полезных ископаемых. Это событие ознаменовали выход в свет "Учение о рудных месторождениях" Фон-Котта в 1859 г. и разработка представлений о металлогении Де-Лоне в 1913 г. В XX в. из минералогии выделились учение о природных водах-гидрогеохимия и учение о каустобиолитах.

Развитие понятия "минерал" не прекращается и в наше время. Продолжается и дифференциация минералогии — от нее отпочко-

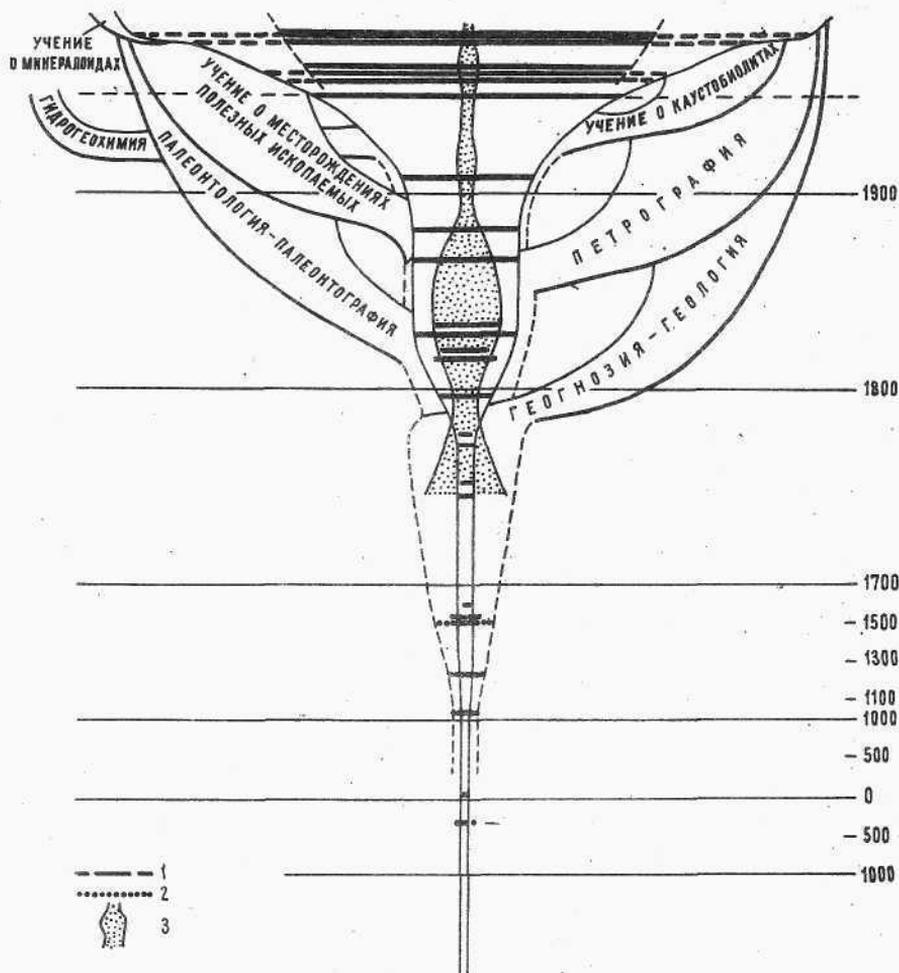


Рис. 2. Эволюция фонда минералов и дифференциация минералогии. 1 — число минеральных видов (сплошная линия) и разновидностей (пунктир) на разных исторических срезах (длина отрезка — 400 минералов); 2 — общее число ископаемых видов; 3 — изменение относительного объема разделов по систематике минералов в фундаментальных трудах.

Fig. 2. Evolution of the mineral fund and differentiation of mineralogy.

1 — number of mineral types (continuous line) and varieties (dotted line) on different historical cuts (the segment length — 400 minerals); 2 — the whole number of fossil types; 3 — change of the relative volumes of sections on mineral systematization in fundamental papers.

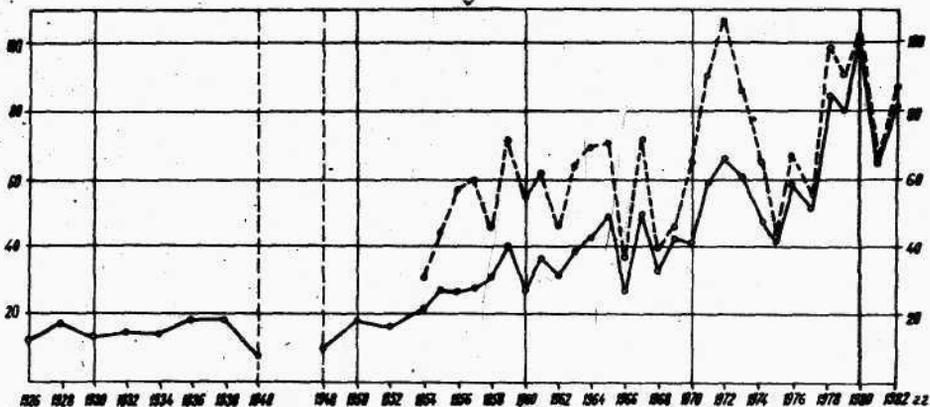


Рис. 3. Динамика открытия новых минералов. Сплошная линия — утвержденные КНМ и МН ММА открытия новых минералов, пунктирная — поданные заявки.

Fig. 3. Dynamics of the discovery of new minerals. Continuous line — discovery of new minerals, adopted by IMA, dotted line — presented applications.

вываается еще одна наука. Анализ современных объектов минералогии, их положение в структурно-эволюционном ряду геологических систем раскрывает нецелесообразность, неоправданность включения в объекты минералогии природных систем, структуру которых составляют слабоупорядоченные ионные и молекулярные группировки (переохлажденные жидкости, стекла, аморфные вещества, полимеры и мономеры и т.п.). Исследование их минералогическими методами, специально приспособленными только для изучения кристаллических структур, бесплодно и в принципе не может обеспечить серьезного прогресса в их познании. Именно поэтому "предкристаллическое" (минералоидное) состояние вещества оказалось очень слабо исследованным, и назрела необходимость обособления самостоятельной науки о минералоидах, пограничной между минералогией и геохимией — учения о минералоидах.

Интересно отметить четко видную на рис.2 закономерность: когда представления об объектах минералогии проходят перестройку, связанную с установлением неоднородности объектов, и назревают условия для дифференциации, в структуре минералогии резко повышается относительное количество исследований и рассуждений по проблемам систематики минералов. И наоборот, когда представления о минерале относительно стабилизируются, объем систематизационных исследований относительно невелик.

В XIX и особенно в XX в., как еще одно из следствий конкретизации представлений о минерале, происходит очень быстрое нарастание фонда минералов, который по числу минеральных видов превышает сейчас 2 тыс., а вместе с разновидностями около 3,5 тыс. (на рубеже XVIII-XIX вв. было известно не более 100 минеральных видов). Особенно стремительно темпы открытий новых минералов нарастают на современном этапе развития минералогии (рис.3).

Если в XVIII в. годовой прирост минерального фонда составлял около 0,5 минерала, в XIX в. — 3-4 минерала, в первой половине XX в. — 10-20 минералов, то во второй половине XX в. он неуклонно возрастает от 20 до 80-100 минералов в год. Естественный предел роста фонда минералов еще очень далек (Юшкин, 1977), и в будущем число минеральных видов увеличится, очевидно, до нескольких десятков тысяч, как это оценивает В.С.Урусов. Но сопровождается ли рост объема минерального фонда его существенными качественными изменениями, меняется ли принципиально с увеличением числа известных минеральных видов представление о структуре минерального мира?

Попытаемся ответить на этот вопрос с позиций теории информации, рассмотрев в историческом аспекте изменение информационной энтропии по рангам различных минералогических классификационных систем (по видам симметрии H_{BC} , сингониям H_C рангам кристаллохимической классификации H_{KX}). Информационная энтропия вычислялась по известной формуле К.Шеннона $H(x) = - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \log P_i$, где P_i — вероятность нахождения в данном ранге [46].

Графики изменения соответствующих энтропийных характеристик по основным минералогическим обобщениям, выстроенным в хронологическом порядке, приведены на рис.4. Они показывают, что сингонийная энтропия полностью стабилизируется в начале XIX в., это сопровождается и выполаживанием кривой H_{BC} . Следовательно, начиная с работ В.М.Севергина фонд минералов обеспечивал получение достоверного знания о кристаллосимметричной структуре минерального мира на уровне сингоний и близкого к достоверному — с детальностью до видов симметрии. В то же время даже современный фонд минералов не дает возможности строго охарактеризовать кристаллохимическое разнообразие минералов: кристаллохимическая энтропия не проявляет тенденции к стабилизации.

РАЗВИТИЕ СТРУКТУРЫ МИНЕРАЛОГИИ

Идейная эволюция минералогического знания заметно отражается в изменении структуры минералогии, представляющей систему методических подходов к изучению главного объекта минералогии — минерала. Чтобы проследить ее становление, мы проанализировали структуру минералогической науки на 34 исторических срезах, начиная с середины XVIII в., когда она стала более или менее заметно оформляться, до наших дней.

Структурному анализу подвергались наиболее полные и представительные для своего времени минералогические сводки, обобщения и фундаментальные труды охватывающие всю минералогии в целом (такие, как труды И.Г.Валлерия, 1747 г., В.М.Севергина, 1798 г., Г.Леонгарда, 1824 г., К.Ф.Науманна, 1828 г., А.Ловецкого, 1832 г., Дж.Дана, 1837 г. и последующие, А.Лаппарана, 1899 г., Клокманна, 1922 г., И.Костова, 1968г. Е.К.Лазаренко, 1971 г. и др. Анализируя эти труды, мы выделяли сведения по общей теории минералогии, морфологии минералов, их конституции (структуре и химизму), физическим и хими-

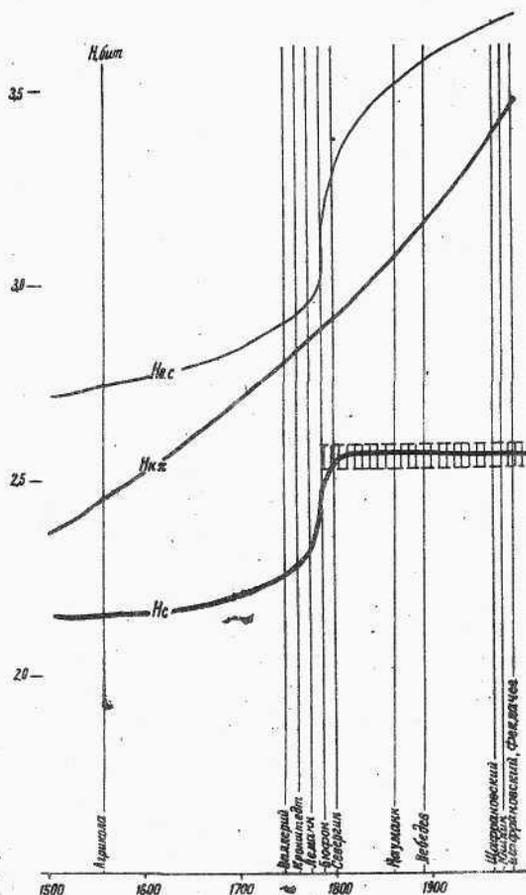


Рис. 4. Возрастание информационной энтропии распределения минералов по рангам кристаллохимической классификации $H_{кк}$, по сингониям H_c , видам симметрии $H_{вс}$ в периоде с XVI по XX вв.

Fig. 4. Growth of information entropy on mineral distribution according to the ranks of crystallochemical classification $H_{кк}$, singonies H_c , types of symmetry $H_{вс}$, in the period from the XVI th to the XXth century.

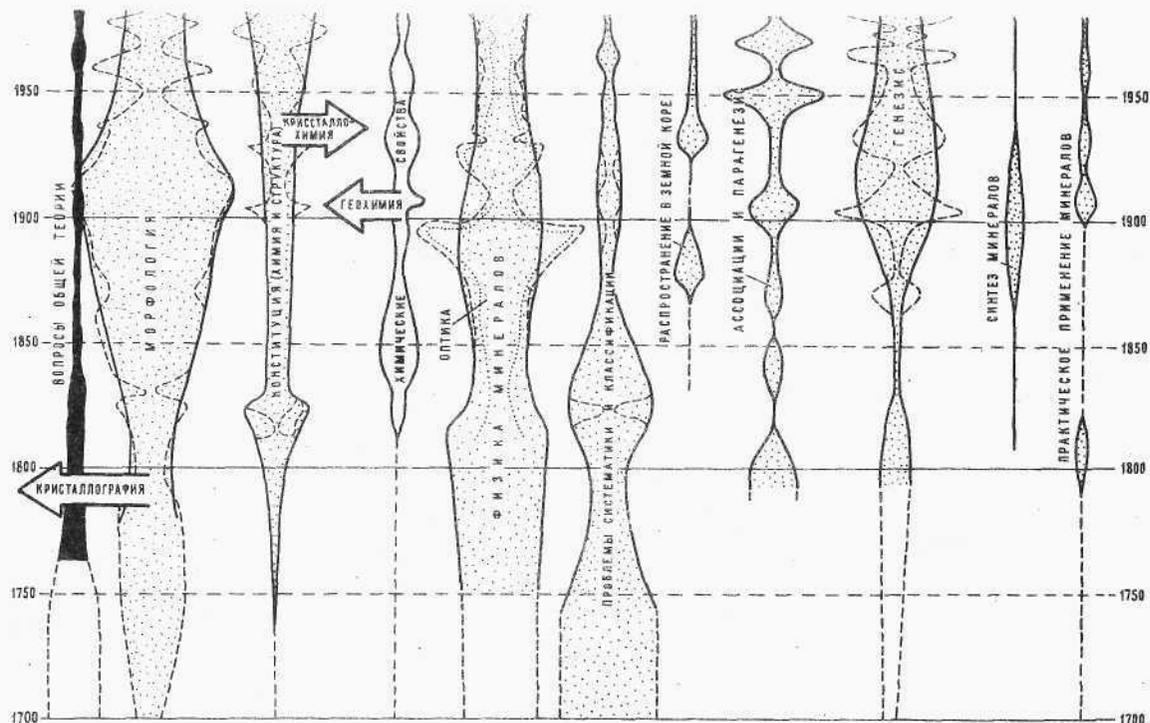


Рис. 5. Изменение относительных объемов сведений по разным структурным разделам минералогии в процессе ее развития (по фундаментальным сводкам и учебникам).

Пунктир — результаты вычислений, сплошные линии — сглаженные статистические кривые. Стрелками отмечены периоды отделения новых наук.

Fig. 5. Variation of the relative information volumes in different sections of mineralogy in the process of its development (according to fundamental summaries and reference books. Dotted line — calculation results, continuous lines — smoothed statistical curves. Separation periods of new sciences are marked by pointers.

ческим свойствам, особенностям распределения в земной коре, взаимоотношениям минералов и их агрегации, проблемам систематики, генетической минералогии, проблемам использования минералов, минералосинтезу, а затем подсчитывали относительные объемы сведений по каждому из направлений. Результаты анализа иллюстрирует диаграмма на рис.5.

Почти все направления современной минералогии, как видно из этой диаграммы, уже существовали с середины XIX в. Многие из них зародились в XVIII в., а такие направления, как систематика минералов, учение об их свойствах, главным образом физических, о генезисе минералов, вопросы практического использования минералов, элементы общей теории минералогии уходят своими корнями в глубокую древность, в донаучный камневедческий период минералогического знания.

Соотношение между разделами минералогии на ее историческом пути непрерывно менялось — одни направления уступали ведущую роль другим, некоторые периодически то приобретали, то теряли популярность. Например, устойчиво расширяется конституционное направление минералогии, что связано, конечно, с постоянным прогрессом в структурных исследованиях. В то же время все увеличивавшийся объем морфологических исследований с 20-30-х гг. XX в. стал уменьшаться — это связано с тем, что морфологическое описание достигло высокого совершенства, точности и становится все более компактным и строгим. Кроме того, разработка теоретических основ кристалломорфологии в значительной степени отошла от минералогии к отпочковавшейся от нее кристаллографии.

Уровень разработанности **направлений**, **новые открытия** в нем и появление **новых проблем**, **отход определенных проблем к другим научным направлениям** и **иные факторы** определяют относительную роль того или иного направления минералогии на каждом конкретном этапе ее развития. Однако не количество работ, не объем знания, а научные идеи составляют сущность каждого направления. На рис.6 мы попытались показать идейную эволюцию системы минералогического знания через авторов фундаментальных открытий и важнейших минералогических трудов.

Рис. 6. Эволюция системы минералогического знания, I — представления о минерале и систематика минералов; II ~ морфология минералов и кристаллография; III — структура минералов; IV — химия минералов; V — физика минералов; VI — учение о парагенезисах; VII — топоминералогия; VIII — генетическая минералогия.

Fig. 6. Evolution of the system of mineralogical knowledge.

I — ideas about minerals and mineral systematization; II — mineral morphology and crystallography; III - mineral structure; IV - mineral chemistry; V - mineral physics; VI - study on parageneses; VII - topomineralogy; VIII - genetic mineralogy.

ИДЕИ О ДИСКРЕТНОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО МИРА И МИНЕРАЛЬНЫХ ИНДИВИДАХ

Современная теоретическая минералогия рассматривает как элементарные системы минерального мира минеральные индивиды [46], т.е. природные мономинеральные (монокристаллические) тела, ограниченные друг от друга и окружающего пространства непрерывными пространственно замкнутыми поверхностями структурного раздела. Они являются той основой, на которой конструируются все концептуальные системы — конституционные, таксономические, синминералогические и т.д.

Человек всегда имел дело с минеральными индивидами и агрегатами — конкретными кусками пород и руд, кристаллами, зернами, поэтому идея дискретности минерального мира, идеи морфологической, и структурной определенности минеральных индивидов, их относительной неделимости в неявной форме угадываются в трудах древних ученых — Теофраста, Плиния и др. [28, 52, 67]. В XVII в. благодаря усилению внимания к кристаллам минералов и в связи с зарождением кристаллографического направления (И.Кеплер, Н.Стенон), эти идеи оформляются достаточно отчетливо, а в конце XVIII в XX вв. минералогии уже уверенно оперируют понятиями об индивидуумах минерального мира, минеральных неделимых особях минералов и т.п. Конечно, это достигается главным образом благодаря впечатляющим успехам морфологической кристаллографии (Ж.Б.Роме Делиль, Р.Ж.Гаюи, Х.С.Вейс, К.Ф.Моос, К.Ф.Науманн, Н.И.Кокшаров, И.Гессель и многие другие), и под минеральными индивидами в первую очередь имеются в виду индивиды кристаллические, как их называл А.Брейтгаупт [54].

Представления о минеральных индивидах получили развитие в трудах А.Г.Вернера [70], А.Брейтгаупта [54], К.Ф.Науманна [66] и особенно Н.И.Кокшарова [20, 21],.. который опубликовал даже специальный доклад о неделимых индивидуумах неорганической природы [21].

Большое влияние на утверждение идеи о минеральных индивидах имели поиски общих закономерностей в строении живого и минерального мира. Очень четко и ярко развитие этого подхода, показал Н.И.Кокшаров [21, с.4] : "... В начале 19 столетия барон Гайдер сделал ясный намек на ту связь, которая существует между оформленными телами природы: животными, растениями и кристаллами". "Жизнь степенью выше растительности, — говорит он, — а эта последняя степенью выше кристаллизации". "Животные живут, растения прозябают", — сказал знаменитый Линней, "... а минералы кристаллизуются", — прибавлял Байен. В этих словах заключены первые попытки провести одну общую нить между животными, растениями и кристаллами, — связать в одну общую нить звенья трех, по наружности столь различных между собой тел природы". Из этой же идеи исходил и Н.И.Кокшаров, обосновывая свои представления о минеральных индивидах:

Под индивидами он понимает не только кристаллы, но и монокристаллические образования любой формы: "... минеральные неделимые были часто образованы в стесненном пространстве и, поэтому, или окристаллизовались только отчасти, или иногда даже вовсе не окристаллизовывались [20, с. 7],

Утверждение идеи о минеральных индивидах — это не просто уточнение знания о структуре минерального мира. Такой подход открывает принципиально новые горизонты перед минералогией, позволяя вывести на научную основу представления о конституции минералов, учение о минеральных видах, систематику, генетическую минералогию и другие направления. Уже Н.И.Кокшаров [21] пытался ввести представления о "жизни индивидуумов", их "болезни", "смерти", подчеркивая минералогическую специфику этих явлений ("животные и растения живут жизнью органической а кристаллы — жизнью неорганической", с. 28). Впрочем за два века до него эту истину почти теми же словами утверждал Д.Кардано (1501-1576): "... камни не только живут, но они страдают от болезней, впадают в старость и умирают" [17]. В этих представлениях лежат истоки современного эволюционного учения, в частности созданной Д.П.Григорьевым онтогении минералов [8].

Принципиально важным моментом в развитии представлений о минеральных индивидах является установление К.Ф.Науманном (Naumann, 1859) закона агрегации, которому подчиняются минеральные индивиды в отличие от индивидов животного и растительного мира. К сожалению, этот закон, большое значение которого подчеркивал и Н.И.Кокшаров [20, 21], не нашел достойного развития в дальнейшей истории минералогии. Замедлялось и развитие самой идеи о минеральных индивидах.

Дело в том, что в познавательном подходе к минералам постоянно взаимодействуют две противоположные тенденции — выделение элементарных объектов и выяснение их индивидуального, особенного (подход к минералам как к индивидам) и, наоборот, — поиски общего, утойчивого (подход к минералам как к минеральным видам). Во второй половине и особенно в конце XIX в внимание минералогов сконцентрировалось в основном на исследовании химического состава минералов, их структуры, на изучении химической стороны процессов минералообразования и построении кристаллохимической классификации минералов. В логической системе минералогии представление о минеральном индивиде как элементарном минеральном объекте стало терять свою конкретность. Конечно, определенные достижения в развитии учения о минеральных индивидах были и в этот период, особенно в изучении анатомии минералов: работы Еремеева, Толстопятова, Бекке [53].

Оперирование только общим и игнорирование индивидуального создало опасность отрыва минералогии от реальных объектов. Кроме того необходимость учета особенностей каждого минерального индивида определялась практикой использования минералов как физических тел. Поэтому с 50-х гг. нашего столетия интерес к минеральным индивидам вновь стал повышаться. Этому способствовали исследования и глубокие теоретические разработки Г.Г.Леммлейна, Д.П.Григорьева, И.И.Шафрановского, И.Костова, других современных минералогов. Большое внимание проблеме индивидов и сред уделял в последние годы своего творчества А.В.Шубников [45 и др.] . Возвращение внимания исследователей к кристаллу как к индивиду Н.В.Белов определил как новую (после кристаллоструктурной) научную революцию в минералогии.

В настоящее время учение о минеральных индивидах развивается интенсивно и всесторонне [13], и в этом направлении могут быть достигнуты весьма перспективные результаты.

РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ О КОНСТИТУЦИИ МИНЕРАЛОВ

В современной теоретической минералогии наметилась тенденция существенного расширения понятия о конституции минералов. Еще до недавнего времени конституция минералов рассматривалась по сути дела как минералогический эквивалент кристаллохимии [9, 23]. В новейших работах Д.П.Григорьев предложил включить в понятие конституция всю совокупность структурных уровней, не ограничиваясь атомным, вплоть до макроскопического [10]. Конституция минералов представляется как единство квази-

частичной, электронной, ядерной и **атомной структур** минералов; их макроструктуры (анатомии) и **морфологии** [46]. Такое **расширение** понятия конституции минералов научно оправданно: действительно, состав, структура, морфология, свойства минералов органически едины, взаимообусловлены, могут быть с определенными допущениями выведены друг из друга (форма индивидов предсказывается на основе структуры минерала, структура — на основе состава и т.п.).

Таким образом, в современном понятии конституции минералов объединяются, вернее синтезируются, морфологическое, химическое и кристаллоструктурное направления минералогии, развивавшиеся на ее историческом пути не только во взаимодействии, но временами и в жестокой конкурентной борьбе друг с другом.

История морфологического направления и эволюция кристалломорфологических знаний детально рассмотрена недавно И.И.Шафрановским [43, 44]. Наиболее важные узловые события эволюции кристаллографического учения:

— открытие многогранников (У в. до н.э., Платон), доказательство существования всего пяти правильных многогранников, тел Платона (III в. до н.э., Евклид);

— описание кристаллов как многогранников (древние и средневековые авторы, особенно Плиний, 79 г., А.Магнус, 1280 г., Г.Агрикола);

— первое кристаллографическое описание (И.Кеплер, 1611 г.);

— открытие и признание фундаментального значения закона постоянства углов (Н.Стенон, 1669 г., Д.Гуглиельмини, 1688 г., М.В.Ломоносов, 1749 г., Ж.Б.Роме Делиль, 1783 г. Генкель);

— идея о простых формах и их комбинациях (В.Дависсон, 1630 г.);

— зарождение кристаллографии как самостоятельной науки (И.Готтингер — "кристаллология", 1698 г.; М.Капеллер — "кристаллография", 1723 г.; Ж.Б.Роме Делиль — издание первых фундаментальных трудов по кристаллографии, 1772, 1783 гг.);

— закон рациональных отношений параметров (Р.Ж.Гаюи, 1784 г.);

— введение представления о симметрии кристаллов (Р.Ж.Гаюи, 1784, 1815 гг.);

— вывод 32 классов симметрии (И.Гессель, 1830 г., А.В.Гадоллин, 1867 г., Л.Зонке, 1890-1891 гг.);

— создание фундаментальных кристаллографических трудов (Е.С.Федоров, 1901, 1903 гг.; П.Грот, 1905, 1906-1919 гг.; В.Гольдшмидт, 1913-1925 гг.; А.К.Болдырев, 1937-1939 гг. и др.);

— универсальный принцип симметрии (П.Кюри, 1908 г.);

— разработка учения о реальных кристаллах (И.И.Шафрановский, 1957, 1961 гг.);

— разработка учения о гомологии (Михеев, 1961 г.), симметрии подобия (А.В.Шубников, 1960 г.), криволинейной симметрии (Д.В.Наливкин, 1925 г., П.Л.Дубов, 1970 г.), антисимметрии (Г.Хеш, 1930 г., А.В.Шубников, 1960 г., А.М.Заморзаев, 1976 г.), цветной симметрии (Н.В.Белов, Т.Н.Тараханова, 1956, 1957 гг.; Г.С.Поли, 1961 г.; В.А.Копчик, 1974 г.);

— разработка учения об онтогении минералов-индивидов и агрегатов (Д.П.Григорьев, 1961 г.; Д.П.Григорьев, А.Г.Жабин, 1975; А.Г.Жабин, 1979 г.).

Из строгого морфологического направления минералогии выросла самостоятельная наука — кристаллография, входящая сейчас в цикл физических наук, однако тесная связь ее с минералогией не прерывалась, и следствием этой связи стало формирование особого научного направления в минералогии — минералогической кристаллографии [22,42].

История химического направления в минералогии — это по сути дела история самой химии на ранних ее этапах, так как химическое знание формировалось главным образом на исследовании химических свойств и состава минералов. Большая часть химических элементов была открыта в результате разложения и анализа минералов. Однако до конца XVIII в. химические исследования хотя и раскрывали существенно новые стороны строения минералов, но не могли конкурировать по информативности с морфологическими и физическими. Химическое направление развивалось по пути химического испытания минералов, было поисковым.

Существенно изменилась роль химических исследований с рубежа XVIII-XIX вв., в период открытия и утверждения количественных законов химии — законов постоянства состава, эквивалентов, простых кратных соотношений, законов стехиометрии, с созданием химической анатомии, с разработкой качественной, а затем и количественной аналитической химии, метода паяльной трубки, спектрального анализа. Развернулось изучение химического состава минералов (М.Клапорт, Э.Лаксман, Н.Воклен, Т.Е.Ловиц, И.Гадолин, С.Теннант, У.Гатчет, В.Волластон, И.Берцелиус, Ф.Штрмейер, И.Арфведсон, Г.Розе, К.Мозандер, Г.И.Гесс, Р.Герман, Р.И.Евреинов и многие другие), и это привело к точному знанию химизма нескольких сотен минералов. Начали выявляться закономерности связи между химическими свойствами и свойствами минералов. Периодический закон Д.И.Менделеева раскрыл новые возможности предсказания свойств минералов по входящим в их состав элементам.

В 1819 г. Э.Митчерлихом было открыто явление изоморфизма, существенно изменившее взгляд на химическую конституцию минералов, а открытие им же в 1822 г; явления полиморфизма утвердило высказывавшиеся идеи о взаимосвязи состава и формы минеральных индивидов.

В XIX в. произошла полная химизация минералогии. На твердую химическую основу перестроились химические классификации (Я.Берцелиус, Д.И.Соколов, Д.Дана, Г.Розе и многие другие), и минерал стал рассматриваться в первую очередь как химическое соединение, а минералогия — как химия земной коры. Перестраиваются представления о генезисе минералов как продуктов природных физико-химических процессов. В аппарат генетической минералогии входят физико-химическая термодинамика (созданная уже в первой половине XIX в. на основе термодинамического метода физики и представлении химии о химическом равновесии и энергии химического процесса), термохимия (с ее законом действия масс, химическими диаграммами, принципом Ле-Шателье, правилом фаз Нернста), электрохимия, учение о растворах, химическая кинетика. Были опубликованы фундаментальные обобщения по химической минералогии (Т.Бергман, К.Раммельсберг, П.Грот, К.Хинце, К.А.Дельтер, Р.Браунс, А.Е.Ферсман и др.). Химические свойства минералов выступали как ведущие в их диагностике почти до середины XX в. Они определяют и основные черты технологии большинства типов руд.

В первое десятилетие XX в. из химического направления минералогии выделилась геохимия (Ф.У.Кларк, В.И.Вернадский, В.М.Гольдшмидт, А.Е.Ферсман и др.) — наука о свойствах, распределении и поведении атомов химических элементов в земной коре (сам термин "геохимия" был введен в науку в 1838г. швейцарским химиком Х.Ф.Шенбейном).

Химические идеи сохраняют и сегодня важное значение во многих разделах минералогии, а в некоторых из них, например в генетической минералогии, являются доминирующими в ущерб другим (физическим, геологическим) представлениям. В то же время еще далеко не все возможности современной химии эффективно используются минералогией (электрохимия, учение о катализе).

История структурных представлений берет начало с атомистики Левкиппа, Демокрита, Эпикура и других древних натуралистов, считавших, что вся материя, в том числе и кристаллы, слагаются из мельчайших частиц - атомов. Продуктивно эти представления начали, пожалуй, развиваться с публикации Иоганном Кеплером в 1611 г. его трактата "О шестиугольном снеге" [18], в кото-

ром он приписывает снежинкам структуру, подобную плотной упаковке шариков одного диаметра. Эти представления переносились на квасцы, каменную соль, кальцит, селитру и другие минералы (Р.Гук, Д.Гуглиельмини, Х.Гюйгенс, М.В.Ломоносов, Вестфельд, Т.О.Бергман и др.), но форма кристаллообразующих частиц принималась разной — октаэдрической, эллипсоидальной и др. Р.Ж.Гаюи в 1783-1784 гг. публикует основы своей знаменитой теории структуры кристаллов, непрерывно совершенствующейся и наиболее полно изложенной в курсах минералогии и кристаллографии 1822 г. [5]. В этой теории кристалл рассматривался как постройка из мельчайших параллелепипедов (интегрирующих или сустративных молекул), и она, таким образом, стала зародышем современной теории решетчатого строения кристаллов.

Следующие наиболее важные вехи в развитии структурной теории:

- замена в 1813 г. Волластоном параллелепипедов Гаюи шариками и математическими точками — центрами шариков (представление о кристаллической структуре как о трансляционной системе точек);

- вывод О.Браве в 1850 г. 14 видов пространственных трансляционных решеток;

- вывод Е.С.Федоровым в 1890 г., а затем А.Шенфлисом в 1891 г. и Барлоу 230 пространственных групп симметрии;

- создание Е.С.Федоровым кристаллохимического анализа и публикация таблиц "Царство кристаллов" [59];

- доказательство существования атомов химических элементов и отождествление их с узлами кристаллической решетки;

- открытие рентгеновских лучей в 1895 г. Рентгеном и в 1912 г. Лауэ явления дифракции рентгеновских лучей на кристаллических структурах;

- вывод в 1913 г. формулы Брэгга-Вульфа и разработка методов структурного анализа.

С момента создания рентгеноструктурного анализа к настоящему времени расшифрованы кристаллические структуры почти всех минералов. В это большой вклад внесли У.Г. и У.Л.Брэгги (отец и сын), Р.У.Уайков, Л.Полинг, Э.Шибольд, У.Г.Тейлор, В.Захариасен, Н.В.Белов и др. Все вновь открываемые минералы получают сразу же строгую кристаллоструктурную характеристику. Создается всеобъемлющая теория кристаллической структуры минералов (Г.Грим, В.М.Гольдшмидт, А.Е.Ферсман, Н.В.Белов, В.С.Соболев, А.С.Поваренных, Д.П.Григорьев, В.И.Лебедев, В.С.Урусов).

В развитии кристаллоструктурных представлений, как видно из

перечисления узловых моментов их истории, важнейшую роль сыграло учение о симметрии, ставшее основой кристаллоструктурного анализа. Через симметричные представления кристаллохимия органически смыкалась с кристалломорфологией, с одной стороны, и с химией — с другой.

Одним из наиболее важных этапов развития кристаллохимической идеи, несомненно, является федоровское учение о пространственных группах, учение о параллелоэдрах и кристаллохимический анализ Е.С.Федорова, основы которого изложены в статье 1885 г. "Теория структур кристаллов", а реализация дана в "Царстве кристаллов" [59]. Наверное, если бы не было создано рентгеноструктурного анализа, кристаллохимическая наука пришла бы к познанию основных структурных закономерностей минерального мира и через федоровское учение, о чем свидетельствуют представления о 230 федоровских пространственных группах.

Сейчас кристаллоструктурное направление в минералогии достигло высокого совершенства и обладает эффективными прогностическими функциями. Недостаточно разработаны в нем энергетические аспекты кристаллохимии, теория связи кристаллообразующих частиц, представления о динамике структур в минералообразующих процессах (геокристаллохимия по Н.В.Белову) и некоторые другие проблемы. Намечаются новые перспективные тенденции: раскрытие законов кристаллической структуры на ядерном, электронном и квазичастичном уровне, а также на макроуровне и создание единой структурной теории. В этом направлении уже сделаны первые шаги (работы М.М.Протогьяконова, Д.П.Григорьева). Большое значение для минералогии имеет установление закономерностей взаимосвязи между морфологией и кристаллической структурой (О.Браве, Г.Фридель, Е.С.Федоров, П.Ниггли, И.Дж.Доннэй, Д.Харкер, П.Хартман, В.Пердок, И.И.Шафрановский, Н.З.Евзикова) и структурой и свойствами минералов.

РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ МИНЕРАЛОВ

Сведения по физике минералов мы находим в самых древних минералогических сочинениях. Это главным образом сведения о механических (твердости, хрупкости) и тепловых (плавкости) свойствах, плотности. Платон, Еврикид, Эфбул, Плиний и другие естествоиспытатели древности имели представления о магнитных свойствах минералов. В древности человек столкнулся и с электрическими свойствами на примере янтаря. Принципиально важным переломным моментом в исследовании любых физических свойств ста-

новится переход их на количественную оценку. Первым таким свойством стала плотность (удельный вес), определявшаяся еще Архимедом. Оценка ее была доведена до высокой степени совершенства среднеазиатскими учеными (Хазини, Ибн Сина, Бируни и др.), ими же введен этот метод в минералогию.

В ранних работах по общей минералогии (в трудах "физического" периода) обычно характеризуются механические, электрические, магнитные свойства минералов, удельный вес, а также вкус, запах, звук и некоторые другие. Большое внимание отводится оптике (цвету, прозрачности минералов и т.п.). В дальнейшем появляются данные о люминесценции минералов, радиоактивности, теплопроводности, расширяется область спектроскопических характеристик, но исчезают сведения о чувственных свойствах — вкусе, запахе и т.п.

Главным направлением физики минералов всегда была оптика, развивавшаяся вначале как учение о цвете минералов. В развитии оптических методов были три переломных, по-настоящему революционных периода. Первая оптическая революция связана с открытием Э.Бартолином в 1669 г. явления двупреломления в исландском шпате (правда, открытием сразу не признанным) и переоткрытием этого явления в 1691 г. на кварце Х.Гюйгенсом, создавшим знаменитый "Трактат о свете" и обосновавшим волновую теорию света. Этим было положено начало кристаллооптике, раскрывшей удивительную красоту природы оптических свойств минералов и показавшей новые области их исследований. Кристаллооптика встала на более прочную теоретическую основу после того, как в 1819 г. Френель пришел к представлению о поперечном, а не продольном характере световых колебаний. Вторая революция в кристаллооптике вызвана созданием поляризационного микроскопа, примененного Г.Сорби в 1858 г., а затем Г.Розенбушем, А.А.Иностранцевым и другими к исследованию минералов и горных пород. Это позволило перевести точные кристаллооптические исследования на микроуровень и вооружило минералогию и другие науки, исследующие кристаллическое вещество, таким универсальным методом, аналогичного по эффективности и результативности которому больше не было в истории нашей науки. Третья революция связана с созданием во второй половине XIX в. главным образом трудами Максвелла электромагнитной теории света, последовавшими за открытиями радиоволн, рентгеновских лучей, созданием квантовой теории света, теории кристаллического поля. На основе кристаллооптики и других областей физики минералов возникла впечатляющая система методов спектроскопии, включающая электронный па-

рамагнитный резонанс, ядерный магнитный и ядерный квадрупольный резонанс, мессбауэровскую, рентгеновскую, рентгеноэлектронную, оптическую спектроскопию, люминесценцию.

Параллельно с оптикой минералов на кристаллофизическую основу переходили и другие области минералогической физики: формировались кристалломеханика, учение об электрических свойствах кристаллов.

Общая закономерность в развитии всех физических направлений заключается в синтезе новейших физических открытий с открытиями в области конституции минералов. Это взаимообогащающий процесс, и нужно подчеркнуть, что многие физические открытия сделаны именно при исследовании минералов. Прогресс почти во всех областях физики твердого тела обязан в значительной степени минералогическим исследованиям.

Одной из наиболее актуальных задач современной физики минералов является разработка представлений о физике реальных кристаллов, а также "геологизация" минералогической физики, выявление закономерностей и механизмов связи физических свойств минералов с условиями их формирования и нахождения в земной коре.

ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМАТИКИ МИНЕРАЛОВ

Разделы по систематике минералов занимали до середины XIX в., пока не определилась более или менее удовлетворительная кристаллохимическая система, довольно важные места в структуре минералогии (рис.5). По данным А.С.Поваренных [28-30], О.А.Соколовой [33] и других в истории минералогии характерна следующая тенденция развития систематизационного подхода:

— систематизация по внешним признакам, иногда в сочетании с генетической природой, наиболее характерная для периода с древнейших времен до середины XVI в. (классификации Аристотеля, Теофраста, Плиния, Ион Сины, Бируни, Агриколы и др.);

— систематизация по внешним признакам и свойствам с элементами химической природы минералов, характерная для XVI-XVIII в. (классификации И.Бехера, К.Линнея, И.Г.Валлерия, А.Ф.Кронштедта, Г.Бергмана, Добантона, Р.Кервана, А.Г.Вернера, В.М.Севергина, Р.Ж.Гаюи и др.); в различных классификациях предпринимаются попытки выбрать в качестве ведущего какой-то существенный признак (форму, строение, состав, свойства), причем со временем предпочтение все больше отдается химизму минералов;

— систематизация по химическому составу, характерная для

XIX-начала XX в. (классификация Я.Берцелиуса, Г.Розе, Д.И.Соколова, Дж.Дэна, К.Ф.Науманна, Г.Чермака, П.Грота, В.И.Вернадского, П.Ниггли и др.);

— систематизация на кристаллохимической основе: химический состав + кристаллическая структура (У.Брэгг, В.Гольдшмидт, все современные классификации — Х.Штрунц, Е.К.Лазаренко, А.С.Поваренных, Х.Резлер, А.А.Годовиков, И.Костов и многие другие).

Конечно, наряду с этими главнейшими типами существовало и существует множество других классификаций, основанных практически на всех свойствах минералов и особенностях их применения.

Характерной чертой современных исследований в области систематики наряду с совершенствованием химической, кристаллохимической классификаций и разработкой их научных основ (А.С.Поваренных, А.А.Годовиков и др.) являются поиски путей создания генетической классификации минералов (Е.К.Лазаренко, И.Костов и др.), но принципы генетического подхода к систематике пока не ясны. Наиболее близко к решению этой проблемы подошел И.Костов, который разрабатывает принципы систематики на кристаллохимической и генетической (парагенетической) основах. Очевидно, генетическая классификация кроме геометрического аспекта кристаллохимии должна учитывать и энергетическую характеристику структуры минералов.

Систематика минералов развивается в прямой зависимости от представлений о минеральном виде. Интерес к этой проблеме всегда был достаточно серьезным, и она активно обсуждалась и обсуждается (А.Н.Винчелл, П.Ниггли, В.С.Соболев, Д.П.Григорьев, А.С.Поваренных, Г.Б.Бокий, Е.К.Лазаренко, Н.П.Юшкин, А.Г.Булах, А.А.Годовиков и др.).

Однако без науки о виде — минералогической эйдологии [46], которая разрабатывается очень слабо, процесс оформления научных представлений о минеральном виде развивается пока стихийно и неэффективно.

СИНМИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИДЕИ

Мы уже упоминали о законе агрегации К.Ф.Науманна, сформулированном им в 1859 г.: ". . . неделимые неорганической природы подчинены преобладающему закону агрегации, вследствие которого они являются образовавшимися во множестве один подле других, один над другими и один сквозь других" [20, с. 7]. Минералы не существуют поодиночке, а образуют различные по составу и структурным **соотношениям сообщества, которые носят законо-**

мерный характер, повторяются в телах одинаковой генетической природы.

Идея о существовании синминералогических систем угадывается еще в древних китайских источниках, в частности в Гуан-Цзы (685 г. до н.э.) говорится о сочетаниях минералов и изменении их с глубиной. У.Альдранди (1522-1605) хотя и наивно, но вполне оправданно рассуждал о симпатии и антипатии минералов. В.В.Севергин в 1798 г. ввел в научную минералогию понятие о смежности минералов: "Смежностью минералов я называю совместное пребывание двух или многих минералов в каком-либо месте, которое заслуживает особого примечания. На пр. сопребывания кварца со слюдою, с самородным золотом и проч., известного шпата со свинцовым блеском, с самородным серебром и проч. "[32, с. 85]. Он делает попытку объяснить и причины смежности. "Смежность минералов" В.М.Севергина имеет то же содержание, что и введенное через полвека в 1849 г. А.Брейтгауптом понятие "парагенезис минералов [55].

Как развитие идеи о смежности, парагенезисе минералов стало современное учение о парагенезисах и ассоциациях минералов, в формирование которого наиболее существенный вклад внесли советская минералогическая школа во главе с Д.С.Коржинским, немецкая (фрейбергская) школа во главе с Х.И.Резлером и болгарская — во главе с И.Костовым. Итог этим разработкам подвел известный Фрейбергский коллоквиум по проблемам минеральных парагенезисов в 1966 г., посвященный 175-юбилею А.Брейтгаупта. В настоящее время вследствие неоправданного расширения понятия "парагенезис" (существует около 20 совершенно различных толкований парагенезиса [46]), учение о парагенезисах находится в кризисе перед назревшей существенной его перестройкой.

Одновременно с учением о парагенезисах развивалось учение, о минеральных агрегатах,

В современной минералогии намечаются три направления исследования синминералогических систем, вскрывающие различные их стороны:

- 1) морфолого-структурное (минеральный индивид -* минеральные агрегаты -+ минеральное тело);
- 2) парагенетическое {минеральные индивид •* парагенезисы -> ассоциации);
- 3) генерационное (минеральный индивид -> зарождения, генерации -* • докатила минерала в данном минеральном теле):

Исследование взаимоотношений между минералами в геологических телах, выявление закономерных их сообществ, раскрытие

законов агрегации и ассоциации минералов является сейчас одной из важнейших задач минералогии, так как именно через эти исследования можно подойти к познанию закономерностей минералообразования и минералораспределения в земной коре.

ТОПОМИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Главной целью топоминералогии является установление пространственных закономерностей формирования и распределения минералов и минеральных ассоциаций в геологических объектах различного масштаба (в минеральных телах, геологических регионах, земной коре и других планетосферах, в космических объектах и т.п.). История становления и развития топоминералогических исследований подробно рассматривалась нами в специальной монографии [49].

ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

Термин "генетическая минералогия" введен А.Е.Ферсманом в 1915 г. и, может быть, поэтому ее не совсем справедливо называют наукой XX в. Если мы перелистаем выдающиеся труды прошлого века, например "Учебник минералогии" Г.Чермака (1884 г.)* или "Химическую минералогию" Р.Браунса (1904 г.)*, то по их генетическим разделам убедимся, что минералогенетические представления уже тогда были довольно глубокими и разносторонними и объясняли удовлетворительно природу и механизмы важнейших минералообразующих процессов.

Генетическая минералогия как вполне определенное научное направление стала оформляться с конца XVIII в., когда, с одной стороны, споры нептинистов и плутонистов всколыхнули интерес естествоиспытателей к природе всех геологических объектов, а с другой — в минералогию влилась живительная струя химических идей, раскрывающих причинность и динамичность минералообразующих процессов. Попытки же объяснить как-то генетическую природу минералов предпринимались в самых ранних камневедческих трудах. Однако генетические представления и древности, и средневековья представляют собой трудно дифференцируемую смесь удачных и не удачных интерпретаций наблюдаемых фактов, гениальных догадок и мистических вымыслов.

* Годы издания русских переводов.

Кристаллы горного хрусталя (как, видимо, и другие кристаллы) рассматривались Аристотелем как образовавшиеся из льда под действием сильного холода (эти представления дошли даже до средневековья), а Диодор Сицилийский (60-29 гг. до н.э.) считал их тоже образовавшимися из воды, но закристаллизовавшимися под действием "силы божественного солнца". Разнообразие камней объяснялось различным сочетанием составляющих их начал. Так, согласно Платону металлы (медь, золото) — это результат сочетания воды и земли, а камни состоят из чистой земли, они более красивые и прозаичные, когда строятся из частиц одинаковой формы и размеров, и менее красивые, когда составлены разными частицами. Много "генетических" сведений приводится в "Естественной истории" Плиния, но сведения эти чрезвычайно курьезны: здесь фигурируют камни, падающие с неба во время лунных затмений, камни, вырезанные из мозга спящего дракона; всерьез обсуждается проблема "беременных камней", рождающих себе подобных (Плиний пишет, что это утверждали Теофраст и Мутианус) и т.п. Мистические представления были довольно живучими. Вплоть до конца ХУП в. вели дискуссию две школы, представители одной из которых считали, что жизнь и структура минералов полностью подобна жизни и структуре растений, что камни, как и растения, растут за счет земных соков, впитываемых и циркулирующих по порам, кавернам, трубчатым волокнам, каналам (Кардано [17], Генкель и их последователи); представители же другой школы утверждали, что минералы растут с поверхности, увеличиваясь в объеме за счет нарастающего вещества, свидетельством чему являются слои роста.

Мистические и полумистические представления о генезисе минералов тоже сыграли определенную роль в формировании научных идей. Из идеи о кристаллах как затвердевшей воде, трансформировавшейся в идею о кристаллах, как затвердевших соках земли, выросли представления о кристаллизации минералов из природных растворов. Эти представления уже довольно четко оформились в трудах Г.Агриколы, который в 1556 г. рассматривает в качестве минералообразующих систем подземные и поверхностные воды, проникшие на глубину и нагретые глубинным теплом. Декарт объяснил происхождение многих минералов из эксгаляций, поступающих из недр земли, о чем свидетельствуют наблюдения над вулканами. А.Г.Вернер и другие непунисты проложили путь представлениям об осадочном минералообразовании, а Д.Хеттон и плутонисты — представлениям о магматогенном минералообразовании. К началу XIX в. минералогия уже имела достаточно четкие

понятия о всех главнейших геологических минералообразующих процессах. В генетической минералогии оформился подход, который можно назвать геогенетическим. Главной задачей его является исследование генетики минералов в процессе формирования различных геологических объектов (в процессах магматизма, метаморфизма, гидротермальной деятельности; выветривания, осадкообразования, деятельности организмов и т.д.). Кроме минералогии большой вклад в развитие этого направления внесен учением о месторождениях полезных ископаемых, петрографией, литологией. Это направление как ведущее рассматривается в важнейших обобщающих трудах по генетической минералогии Н.М.Федоровского, Е.К.Лазаренко, В.Ф.Барabanова и др.

Параллельно с генетическим развивался химический, затем физико-химический подход к исследованию генезиса минералов, раскрывающий причины и механизмы перехода вещества из неконденсированного состояния в кристаллическое, и механизмы разрушения и фазовых трансформаций минералов. Как уже отмечалось, это направление развивалось в основном как следствие открытий в химии, и его история в общих чертах повторяет исторический путь химии. В основном химическое учение в минералогии разработано трудами А.Ф.Кронштедта, М.В.Ломоносова, В.И.Вернадского, А.Е.Ферсмана, В.М.Гольдшмидта, Д.С.Коржинского и многих других.

Законы формирования минерала как твердого физического тела познавались в результате физического подхода, вылившегося в учение о росте кристаллов (М.В.Ломоносов, Т.Ловиц, Н.Леблан, Г.В.Вульф, А.В.Шубников, Г.Г.Леммлейн и др.).

Из полумистических представлений древних авторов о "жизни" камней выросал эволюционный подход в генетической минералогии. Хотя уже в конце XIX в. рядом минералогов генетическая минералогия представлялась как учение о развитии минерального мира (например, Г.Чермаком), а эволюционные идеи неоднократно высказывались в трудах А.Г.Вернера, Ф.Мооса, Н.И.Кокшарова, И.Р.Блюма, М.А.Толстопятова, А.П.Карпинского, В.И.Вернадского, А.Е.Ферсмана, И.Костова и других), начало эволюционной минералогии как научного направления следует датировать 50-60-ми гг. нашего века и связывать с именем Д.П.Григорьева, который ввел представление об онтогении и филогении и разработал онтогенетическое учение в минералогии, интенсивно сейчас развивающееся. Анализ эволюционного направления сделан нами в работе "Эволюционные представления в современной минералогии [50].

Достоверность генетического знания полностью определяется

совершенством методов генетической минералогии, а генезис минералов — это наиболее трудный в методическом отношении предмет исследования минералогии, так как формирование минералов оторвано от исследователя во времени на многие миллионы лет. Единственным надежным источником информации о генезисе минералов являются сами минералы, и на них как своеобразных "письмах из геологического прошлого" базировалась и базируется методология генетических исследований — генетикоинформационная минералогия [46].

Исторический путь генетикоинформационных идей начинается, пожалуй, с Фуклида (460–395 г. до н.э.), который впервые ввел в историческую науку метод обратных умозаключений: из современного состояния выводится представление о прошлом. Поэтому в материалистических течениях доантичной философской мысли и в средневековой философии мы находим элементы представлений о естественных объектах (в том числе о минералах) как носителях генетической информации. В 1669 г. Н.Стенон достаточно строго обобщил эти представления в форме принципа, гласящего, что ". . . при данном теле определенной формы, созданной согласно законам природы, в самом этом теле находим доказательства, раскрывающие место и способ его создания" [34, с. 7]. Развитием этого принципа стало учение о типоморфизме минералов (впервые термин типоморфизм ввел в 1903 г. Ф.Бекке, затем его использовали в 1924 г. У.Грубенманн, П.Ниггли), четко сформулированное и творчески примененное для анализа проблемы происхождения пегматитов А.Е.Ферсманом в 1931 г. В современной минералогии это учение получило глубокое развитие, на его основе разработаны не только типоморфический анализ, но и целый комплекс количественных генетикоинформационных методов.

Для генетических интерпретаций минералогических наблюдений большую роль играет генетическое моделирование, начало которому положено еще в III в до н.э. Архимедом. В качестве моделей используются либо современные процессы минералообразования (применение в минералогии принципа актуализма), либо экспериментальные данные. Экспериментальное моделирование вошло в арсенал методов генетической минералогии со второй половины XIX в. (К.В.К.Фукс, Ф.Фукэ, А.Мишель-Леви, Л.Буржуа, Ст.Менье, К.Дельтер, Р.Брауне). Сводка этих исследований в XIX в. дана П.Н.Чирвинским [40], а современное состояние проанализировано нами [47].

Методический аппарат генетической минералогии на современном этапе составляет система методических подходов, приемов,

правил, которые традиционно именуются "анализами". Среди них можно назвать парагенетический анализ в его различных вариантах; формационный, кристаллогенетический, морфогенетический, энергетический, термодинамический, физико-химический, типоморфический анализы; методы минералогической термометрии и барометрии, геохронологии и другие методы, объединяемые в генетикоинформационный анализ; экспериментальное моделирование минералообразующих процессов; теоретическое моделирование и т.п. Все они укладываются в русла двух главных методических подходов: 1) метод моделей, смысл которого состоит в генетической интерпретации установленных фактов путем их сравнения с явлениями и объектами известной природы и с генетическими моделями; 2) сравнительно-исторический метод, восстанавливающий развитие событий на основе выявления пространственно-временной последовательности формирования объектов исследования и их сравнительного анализа.

Результаты исторического анализа генетических представлений в минералогии свидетельствуют, что они развивались очень неравномерно и негармонично в непрерывной борьбе идей, причем в различные периоды господствующими становились то одни, то другие представления. В генетической минералогии всегда была и сейчас существует та или иная односторонность. Многие перспективные идеи оказываются задавленными, забытыми, они не всегда возрождаются. При чтении хороших старинных минералогических трудов всегда поражает, сколько в них заложено ценного, полузабытого для современного исследователя. Приведу один пример. В нашей лаборатории благодаря применению современных методов голографической интерферометрии удалось визуализировать концентрационную структуру раствора вокруг растущего кристалла и проследить ее изменение в процессе роста и разрушения. Оказалось, кристалл коренным образом, в объеме всего кристаллизатора, перестраивает структуру раствора, и главным механизмом перестройки является концентрационная конвекция, приводящая к концентрационному расслоению [27]. Как протооснову наших результатов при разработке новых представлений мы рассматривали наблюдения Г.В.Вульфа в 1895 г. над концентрационными потоками и опыты П.А.Земятченского в 1914 г., а затем В.И.Михеева в 1930 г. по зависимости скорости роста кристаллов от положения по вертикали в кристаллизаторе, а также представления Г.Глеммлейна. Однако исторические изыскания И.И.Шафрановского (1978 г.) показали, что эти представления сформировались существенно раньше, но не привлекали большого внимания кристаллографов. Увеличение скорости нарастания с глуби-

ной в кристаллизационном сосуде наблюдал французский химик-технолог Н.Леблан еще в конце XVIII в. и вполне грамотно их описал, а концентрационные потоки детально охарактеризовал русский ученый Т.Ловиц в 1794 г. Подобных примеров история минералогии знает много. Поэтому исследования по истории генетической минералогии имеют очень большое значение, особенно в связи с задачей создания современной генетической теории на научной методологической основе, органически объединяющей все подходы генезиса минералов,

ПРИКЛАДНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

Минералогия как наука выросла из потребностей практики — поискового и горного дела, металлургии и минеральной технологии, поэтому вопросам использования минералов всегда отводилась важная роль в структуре минералогического знания. Описания минералов обязательно сопровождалась характеристикой их практического значения, хотя в донаучный период действительно полезные рекомендации буквально тонули в море знахарских рецептов, мистики и более чем сомнительных советов. По-серьезному прикладная минералогия начала развиваться, пожалуй, с Г.Агриколы, и впоследствии в минералогические сводки стали включаться специальные разделы "о пользе минералов", "об употреблении минералов" и т.п. Прикладной минералогией в те времена называлась, впрочем, не практическая минералогия, а описание минералов, как например, у В.Г.Фишера (1819-1820 гг.). Требования **оценки** практического значения минералов включались даже в определение минералогии как науки: "Минералогия есть такая наука, которая учит нас показывать минералы по их виду, **наружному состоянию**, содержанию противу других тел, по пользе и **употреблению**. . ." [24, с. 2].

В.М.Севергин (1798 г.), а затем и другие минералоги выделяют в минералогии **новые направления** — экономическую, технологическую и даже врачебную минералогию.

Для XX в. характерен резкий подъем и качественное изменение исследований по прикладной минералогии, повышается их эффективность. В СССР создание научных основ прикладной минералогии обязано в первую очередь трудам **Н.М.Федоровского, А.И.Гинзбурга** и др. В ней оформились три главных направления: а) поисковая минералогия; б) изучение состава, свойств и распределения минералов с целью изыскания новых видов сырья; в) технологическая минералогия [6].

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛОГИИ, ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЕЕ ИСТОРИИ, ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ЭТАПА

Основной фактор развития минералогических представлений— это накопление и углубление знаний о минералах, их взаимоотношениях, геологической ситуации, т.е. получение все новой и новой собственно минералогической информации.

В то же время исключительно важную стимулирующую роль в развитии минералогии играют ее органическое взаимодействие с фундаментальными науками и междисциплинарные связи в системе наук геологического цикла. Как мы показывали выше, каждое крупное открытие в физике, химии, геологии почти сразу же отражалось зарождением новых направлений в минералогии, иногда коренной перестройкой ее теоретических представлений и разработкой нового методического аппарата (например, химия минералов и аналитическая химия, рентгеноструктурный анализ, спектроскопия минералов и т.п.). И наоборот, открытия в минералогии нередко становились химическими или физическими открытиями (открытие новых элементов в минералах и новых типов химических соединений, кристалломеханика, кристаллооптика и т.п.).

Характерная особенность развития минералогии - это "порождение" ею по механизму дифференциации на всех этапах развития новых наук и научных направлений, причем как правило крупных, которые по признакам фундаментальности становились в один ряд с минералогией (литология, петрография) и даже выше (геология). Формирование новых наук в недрах минералогии происходило разными путями: а) по принципу разделения объектов исследования (геология, палеонтология, петрография, литология, учение о месторождениях полезных ископаемых, учение о каустобилитах, гидрогеохимия, учение о минералоидах); б) по принципу создания междисциплинарных наук на основе общих методических подходов (кристаллография, кристаллохимия, кристаллофизика); в) по принципу разделения структурных уровней объектов (геохимия); г) по практическому принципу (технология синтеза минералов и т.п.).

Говоря о дифференциации минералогии нужно отметить одну очень интересную закономерность: каждая отделившаяся от минералогии наука, развиваясь самостоятельно и относительно автономно, но в тесном взаимодействии с ней, через определенный период вновь как бы возвращается в "минералогическое лоно", формируя в нем определенные направления. Так, выделение из минера-

логии кристаллографии компенсировалось зарождением в ней более чем через сто лет минералогической кристаллографии, отход палеонтологии — биоминералогией, геологии — топоминералогией, петрографии и литологии — учением о минеральных агрегатах, т.е. бывшее существование в системе минералогии обособившихся направлений не остается для нее бесследным.

История минералогии и эволюция минералогического знания — это жизнь минералогических идей. Фундаментальные минералогические идеи развивались в тесном взаимодействии, они обогащали друг друга, дифференцировались и, наоборот, ассимилировали одна другую, боролись, побеждая при этом или погибая. Следовательно, анализируя общие тенденции минералогии, целесообразно рассматривать не отдельные руководящие идеи, а их совокупность. Для каждого исторического момента совокупность фундаментальных идей можно выразить через господствующий взгляд на природу минералов, через ведущий познавательный подход к объектам минералогии. В историческом аспекте [13] эти подходы закономерно сменяли друг друга, составив основные этапы развития минералогии, определив существующую периодичность ее истории. В современную минералогическую науку они вошли как компоненты единой теоретико-методологической системы.

Первый подход, относящийся еще к предистории минералогии как науки, к праминералогическому этапу, характеризуется представлением о минералах как ископаемых телах не вполне определенной природы, как о "камнях". Минералы рассматриваются вместе с окаменелостями, горными породами, в общей системе "каменной", но уже многие ученые пытаются выделить из хаоса каменного мира его однородные дискретные составляющие. Минералогия является по сути дела камневедением, склоняясь то к ремеслу, то к искусству, но постепенно в ней начинают формироваться элементы научной методологии и теории (труды арабских ученых, Г.Агриколы). Такие представления господствуют до ХУП в., а по отдельным трудам прослеживаются и значительно позднее (Валх, К.Геснер).

Второй подход, рассматривающий минералы как физические тела, утвердился с начала ХУП в. и обязан определяющей идее о физической однородности минералов. Начало ему положили открытия первых минералогических законов (И.Кеплер, Н.Стефон, Э.Бартолин, Х.Гюйгенс и др.). При исследовании минералов главное внимание обращается на их форму, однородность, физические свойства (А.Вернер, Р.-Ж.Гаюи, Ж.П.Роме Делиль, Х.С.Вейсс, Науманн, Ф.Моос, Н.И.Кокшаров и др.). Это потребовало определенной идеализации объектов — приведения формы реальных

кристаллов к форме идеальных геометрических моделей, пренебрежения отклонениями от нормы как в сложении, так и в свойствах индивидов и т.д. Благодаря физическому подходу сформировалась структура классической кристаллографии, появились зачатки всех важнейших направлений минералогии. Проблемы генетической минералогии сводились в основном к проблемам кристаллизации и роста минеральных индивидов, но так как химическая сторона этих явлений не была еще известна, генетические представления носили преимущественно характер догадок.

Третий подход характеризует представления о минералах не только как об ископаемых физических телах, но и как химических соединениях (М.В.Ломоносов, Т.Бергман, В.М.Севергин, Я.Берцелиус, Г.Чермак, К.Раммельсберг, Дэльтер, В.И.Вернадский, П.Грот, А.Е.Ферсман, В.М.Гольдшмидт, П.А.Земятченский, Н.М.Федоровский и др.). Он зародился в последней четверти XVIII в. и особенно характерен для минералогии XIX — первой половины XX в. В сочетании с физическим подходом он определил основные черты современной классификации минералов, создал учение об изоморфизме, заложил основы минералогической термодинамики и т.п. Благодаря этому подходу получило научную основу учение о генезисе минералов. В нем развивались идеи о минералах как продуктах химических реакций, протекающих в земной коре (В.И.Вернадский, А.Е.Ферсман, В.М.Гольдшмидт, А.П.Виноградов и др.), пересматривались с химических позиций представления о росте кристаллических минеральных индивидов.

Четвертый подход заключается в представлении о минералах как кристаллических решетках с трехмерным регулярным распределением атомов в их узлах. Этот подход, опирающийся на кристаллохимический анализ Е.С.Федорова, стал определяющим с 20-х гг. нашего столетия, когда открытие МЛауэ позволило с помощью рентгеновских лучей прощупать реальную кристаллическую структуру минералов. Кристаллохимия создала условия для синтеза физического и химического направлений, позволила выявить взаимосвязи состава, структуры и свойств минералов, прогнозировать свойства. В генетической минералогии учет кристаллохимических представлений позволил разработать довольно совершенную теорию морфогенеза минеральных индивидов, существенно уточнить физико-химический анализ минералообразующих процессов. На основе кристаллохимических законов, кристаллохимических свойств атомов, новой кристаллохимической классификации минералов открылись широкие возможности для минералогенетических прогнозов.

Современный этап развития минералогии характеризуется **концентрацией внимания на реальных минеральных индивидах как дискретных составляющих минерального мира, на их химизме, структуре, форме, внутреннем строении, функциях, взаимоотношениях** с вмещающей и окружающей геологической средой. Результаты исследований последних трех десятилетий приводят нашу науку к новому взгляду на минерал как кристаллический организм и дают начало, новому, пятому этапу развития минералогии. Сущность нового подхода определяется следующим образом: "Минералы, т.е. кристаллы и зерна, в форме которых реально существуют природные химические соединения и физико-химические фазы, вступают в нашей науке как целостный организм, индивид, со своей анатомией, всегда по своему живущий.. . Познание минерала как организма и его естественной истории, обуславливающей все качества, условия и места нахождения минералов есть назначение, прерогатива минералогической науки" [11, с. 6-7].

При обсуждении представлений о минерале как организме, речь, разумеется, не может идти об отождествлении живого и неживого, о приписывании минералам несвойственных им функций живых систем, хотя рядом естествоиспытателей минеральный индивид рассматривается как своеобразная модель живого организма. Однако "организменный" подход раскрывает такие стороны строения, формы и поведения минералов и такие их функции, которые раньше ускользали от внимания минералогов. В числе их можно назвать строго закономерную картину анатомии минеральных индивидов, динамическое поведение минералов в меняющихся условиях, существование сложных взаимосвязей между минералами и минералообразующей средой, в том числе и существование обратных связей, подчиненность всеобщим законам развития и направленной эволюции, наследственность, способность накапливать и хранить генетическую информацию в виде компонента структуры, существование регуляторных механизмов, саморегуляцию и др. Конечно, все эти и другие явления специфичны в соответствии с особенностями минерального мира.

Минерал в современном понимании — это сложная целостная функциональная система, развивающаяся по минералогическим законам. В теории, практике и методологии минералогической науки минерал рассматривается с различных целевых позиций:

— как физическое тело, построенное из регулярно распределенных в пространстве атомов и поэтому характеризующееся специфическими свойствами;

- как химическое соединение, гигантская молекула, продукт природных химических реакций;
- как элементарная составляющая горных пород и руд, как элемент литосферы Земли и космических тел;
- как кристаллический организм, характеризующийся особым строением и функциями;
- как источник генетической информации, закодированной в его конституции и свойствах;
- как объект практического использования, приносящий пользу или эстетическое наслаждение.

В "организменном подходе" к минералу, Таким образом, органически синтезируются традиционные физическое, химическое и кристаллохимическое представления.

Проведенный анализ развития минералогических идей и представлений в общем подтверждает принципы и схему периодизации истории минералогии, к которым пришли другие исследователи [28, 33], и позволяет внести в нее ряд изменений и уточнений. Наиболее существенные из них — это выделение нового современного периода развития минералогии, приходящего на смену кристаллохимическому, и подразделение древней истории на два периода (или две стадии одного периода). Исходя из особенностей развития минералогии наиболее рациональной представляется следующая схема ее периодизации:

камневедческий период (от древнейших времен до конца УП в.) — предистория минералогии, зачатки эмпирического минералогического знания в системе античной натурфилософии; концентрация внимания на практическом использовании минералов и наиболее удивительных их свойствах;

горнопромысловый период (УШ- середина ХУI в.) — зарождение минералогии как науки вследствие запросов горного дела, металлургии, медицины, алхимии, ювелирного искусства, познание свойств минералов, разработка методов изучения и диагностики минералов, первые обобщения минералогических данных в виде книг, лапидариев, формирование генетических представлений (целесообразно выделение двух подпериодов: среднеазиатского, — УШ-ХУI вв. и европейского — ХIУ-ХУ вв.);

физико-морфологический период (середина ХУI-ХУШ вв.) — становление научной минералогии, широкое введение количественной оценки в методы исследований, установление первых фундаментальных минералогических законов, накопление знаний о минералах;

химико-генетический период (ХIХ в. - 20-е гг. ХХ в.) — фор-

мирование точной описательной минералогии на основе исследования химического состава минералов, разработке классификации минералов, создание основ генетической минералогии;

кристаллохимический период (20-60-е гг. XX в.) — исследование кристаллической структуры минералов, перестройка всей системы минералогического знания на кристаллохимической основе, создание классической минералогии;

современный (структурно-генетический) период (с 60-х гг. XX в.) — развитие минералогии на основе системного ("организменного") подхода к минералам, "геологизация" минералогии.

Обращает на себя внимание уменьшение длительности периодов от древнейших к современным: их временные интервалы соотносятся как 38:24:6:3:1.

В СССР интенсивно развиваются все минералогические направления. Многие из них были созданы трудами советских минералогов. Крупный вклад в развитие общей и специальной минералогии внесли В.И.Вернадский, А.Е.Ферсман, Г.В.Вульф, А.К.Болдырев, Н.М.Федоровский, С.С.Смирнов, А.Г.Бетехтин, Г.Г.Леммлейн, А.В.Шубников, А.С.Уклонский, Е.К.Лазаренко, В.С.Соболев и др. В настоящее время прогресс советской минералогии обеспечивается трудами большой армии минералогов, среди которых широко известны работы В.Ф.Барабанова, В.Л.Барсукова, Г.Н.Вертушкова, В.М.Винокурова, А.И.Гинзбурга, А.А.Годовикова, Д.П.Григорьева, Ю.М.Дымкова, Н.П.Ермакова, Н.З.Евзиковой, А.Г.Жабина, В.А.Жарикова, В.А.Калюжного, Д.С.Коржинского, А.С.Марфунина, О.И.Матковского, Д.А.Минеева, Н.В.Петровской, А.А.Кухаренко, А.Н.Платонова, А.С.Поваренных, Д.В.Рундквиста, Е.С.Семенова, А.Н.Тарашана, В.А.Франк-Каменецкого, Ф.В.Чухрова, Т.Н.Шадлун, И.И.Шафрановского, Н.Н.Шефталя и многих других.

Итак, в этом докладе мы попытались рассмотреть общие тенденции развития минералогии и эволюцию основных минералогических идей, которые определили формирование ее современной структуры, теории и методологии. В заключение еще раз подчеркнем важность занимающих неоправданно скромное место исследований по истории минералогии, которые не только помогают разобраться в прошлом и отдать должное памяти и трудам наших предшественников, но и служат будущему науки. Научная и экономическая эффективность таких исторических трудов, как, например, фундаментальная работа по истории кристаллографии И.И.Шафрановского, достигнутая за счет вскрытия новых закономерностей формирования научного знания и возрождения забытых перспективных идей, не ниже эффективности любого крупного прикладного или теоретического исследования. Будем надеяться, что подобными трудами в недалеком будущем будут обеспечены все направления минералогии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрикола Г. О горном деле и металлургии в двенадцати книгах. — М.: Изд. АН СССР, 1962. — 600 с.
2. Болдырев А.К. Очерки высшей минералогии. — Магадан, 1944. — 106 с. (Бюлл. журн. "Колыма", № 7).
3. Вернадский В.И. Избранные труды по истории науки. — М.: Наука, 1981. — 360 с.
4. Гадолин А.В. Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из единого общего начала. — М.: Изд. АН СССР, 1954. — 156 с.
5. Гаюн Р.Ж. Структура кристаллов. — М.-Л.: Изд. АН СССР, 1962. Сер. Классики науки. — 176 с.
6. Гинзбург А.И., Кузьмин В.И., Сидоренко Г.А. Минералогические исследования в практике геологоразведочных работ. — М.: Недра, 1981. — 237 с.
7. Гордеев Д.И. История геологических наук. — М.: Изд. МГУ, ч. 1, 1967. — 316 с.; ч. II, 1972. — 323 с.
8. Григорьев Д.П. Онтогенез минералов. — Львов: Изд. Львовск. ун-та, 1961. — 284 с.
9. Григорьев Д.П. Основы конституции минералов. — М.: Недра, 1962, 1-е изд. — 65 с.; 1966, 2-е изд. — 75 с.
10. Григорьев Д.П. Расширение понятия о конституции минералов. — В кн.: Кристаллография и минералогия. — Л.: 1972, с. 28-29. (Труды Федоровской сессии, 1969).
11. Григорьев Д.П. Минерал как организм. — В кн.: Проблемы генетической информации в минералогии. Сыктывкар, 1976, с. 6-7.
12. Григорьев Д.П., Шафрановский И.И. Выдающиеся русские минералоги. — М.-Л.: Изд. АН СССР, 1948. — 274 с.
13. Григорьев Д.П., Юшкин Н.Л. Новые идеи и методы в генетической минералогии. — В кн.: Новые идеи в генетической минералогии. Л.: Наука, 1983, с. 3-7.
14. Жабин А.Г. Онтогенез минералов. Агрегаты. — М.: Наука, 1979. — 340 с.
15. Ивашевский Л.И. Основные этапы развития научного мышления в геологии. — Тр. Иркутского гос. ун-ва, 1967, т. XLVI. Сер. философия, вып. 5, с. 81-93.
16. История геологии. /И.В.Батюшкова, Д.И.Гордеев, В.В.Тихомиров, В.Е.Хаан, А.Л.Яншин. — М.: Наука, 1973. — 388 с.
17. Кардано Джироламо. О моей жизни. — М., 1938.
18. Кеплер И. О шестиугольных снежинках. — М.: Наука, 1982. — 192 с.
19. Кренделев Ф.П. Необходимость пересмотра понятия "минерал". — В кн.: Генетическая информация в минералах. Сыктывкар, 1980, с. 8-10. (Тр. Ин-та геологии Коми фил. АН СССР, вып. 31).
20. Кокшаров Н.И. Лекции минералогии. — СПб, 1863. — 226 с.
21. Кокшаров Н.И. Предмет минералогии, краткая ее история, кристаллы как настоящие индивидуумы неорганической природы. — Зап. минер. о-ва, 1876, 2-я сер., т. II, ч. 10, с. 253-272. (Издана также в виде отдельной брошюры популярных чтений в Морском собрании в Кронштадте 7 февраля 1876 г.).
22. Лазаренко Е.К. Состояние и задачи минералогической кристаллографии. — Мин. сборн. Львовск. геол. о-ва, 1967, № 21, вып. 2, с. 119-125.
23. Лазаренко Е.К. Курс минералогии. — М.: Недра, 1971. — 601 с.
24. Леман Г. Минералогия. /Перевод А.Нартова. — СПб, 1772. — 143 с.
25. Ломоносов М.В. Полное собрание сочинений. Труды по минералогии,

- металлургии и горному делу (1741-1763). — М.-Л.: Изд. АН СССР, 1954. — 746 с.
26. Оноприенко В.И. Современная концепция минералогического знания. — Докл. АН УССР, 1982, т. 15, № 6, с. 35-38.
27. Петровский В.А., Рузов В.П., Ракин В.И. Взаимодействие кристалла и среды. — Сыктывкар, 1979. (Сер. "Науч. докл."/АН СССР, Коми фил., вып. 48).
28. Поваренных А.С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. — Киев: Наукова думка, 1966. — 548 с.
29. Поваренных А.С. К вопросу о периодизации истории минералогии. — В кн.: Очерки по истории геологических знаний. М.: Изд. АН СССР, 1969, вып. 10, с. 65-88.
30. Поваренных А.С. Анализ развития представлений о составе и строении минералов на основе категорий формы и содержания. — В кн.: Методологические вопросы геологических наук. Киев: Наукова думка, 1974, с. 121-134.
31. Поваренных А.С. Развитие представлений о составе и строении минералов и отражение их в химических формулах. — В кн.: Методология и история геологических наук. М.: Наука, 1977, с. 104-112.
32. Севергин В.М. Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел. — СПб, 1798, кн. 1, 2.
33. Соколова О.А. К истории классификации минералов. — Вопросы истории естеств. и техники, 1983, № 3, с. 94-101.
34. Стенон Н. О твердом, естественно содержащемся в твердом. — М.: Изд. АН СССР, 1957. — 152 с.
35. Теряев А. История Минералогии или Краткое изображение основания, приращения и усовершенствования оной науки, особливо в последнее двадцатилетие. — СПб, 1819. — 224 с.
36. Тихомиров В.В. Ведущие элементы прогресса в геологии за последние 200 лет. — В кн.: История геологии. Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1970, с. 19-32.
37. Тихомиров В.В., Хаин В.Е. Краткий очерк истории геологии. — М.: Изд. АН СССР, 1956. — 260 с.
38. Уэвелль В. История индуктивных наук от древнейшего до настоящего времени. В трех томах. Т. III. Кн. ХУ. История минералогии. — СПб, 1869, с. 255-339.
39. Фишер Г. Ориктогнозия или краткое описание всех ископаемых веществ с изъяснением терминов. — СПб, 1818, ч. 1. — 456 с.; 1820, ч. II, — 296 с.
40. Чирвинский П.Н. Искусственное получение минералов в XIX столетии. — Киев, 1906.
41. Шафрановский И.И. История кристаллографии в России. — М.-Л.: Наука, 1962. — 416 с.
42. Шафрановский И.И. Очерки по минералогической кристаллографии. — Л.: Недра, 1974. — 152 с.
43. Шафрановский И.И. История кристаллографии. С древнейших времен до начала XIX столетия. — Л.: Наука, 1978. — 297 с.
44. Шафрановский И.И. История кристаллографии. XIX век. — Л.: Наука, 1980. — 324 с.
45. Шубников А.В. У истоков кристаллографии. — М.: Изд. АН СССР, 1972. — 52 с.
46. Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. — Л.: Наука, 1977. — 291 с.
47. Юшкин Н.П. Эксперимент в минералогии: функции, методы, проблемы. — В кн.: Эксперимент в минералогии и моделирование минералообразующих процессов. Сыктывкар, 1977, с. 3-31. (Труды Ин-та геологии Коми фил.

АН СССР, вып. 23).

48. Юшкин Н.П. Перспективные направления и проблемы современной минералогии. — В кн.: Генетическая информация в минералах. Сыктывкар, 1980, с. 5-7. (Труды Ин-та геологии Коми фил. АН СССР, вып. 31).

49. Юшкин Н.П. Топоминералогия. — М.: Недра, 1982. — 288 с.

50. Юшкин Н.П. Эволюционные представления в современной минералогии. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1982, ч. III, вып. 4, с. 432-442.

51. Юшкин Н.П., Жабин А.Г. Перспективные направления генетической минералогии. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1978, ч. 107, вып. 5, с. 505-518.

52. Adams F.D. The Birth and Development of the Geological Sciences. — Baltimore, 1938. — 506 p.

53. Becke F. Der Aufbau der Krystall aus Anwachskegin — Jahrb. Naturwissenschaft. Neue Folge, 1894, Bd XIX, S. 1-18.

54. Breithaupt A. Volltändiges Handbuch der Mineralogie. Bd 1.— Dresden und Leipzig, 1836.

55. Breithaupt A. Die Paragenesis der Mineralien.— Freiberg, 1849.

56. Browne T. Pseudodoxia Epidemica: or Enquiries Into Very Many Received Tenets and Commonly Presumed Truths. — London, 1646.

57. Burke J.G. Origins of the science of crystals. — Berkeley — Los Angeles, 1966, 198 p.

58. Caesius B. Mineralogia sive Naturalis Philosophia Thesauri in quibus Metallicae concretionis medicamentorumque miracula, terrarum continentur. — Lyons, 1636.

59. Fedorow E. Das Kristallreich Tabellen zur kristallochemischen Analyse. — Зап. Акад. наук по физ.-мат. отд., 1920, VIII серия, т. XXXVI. — 1050 с.

60. Greene J.C., Burke J.G. The Science of Minerals in the Age of Jefferson. — Trans of the Amer. Philosop. Soc., 1978, v. 68, pt. 4, 113 p.

61. Groth P. Entwicklungsgeschichte der mineralogischen Wissenschaften.— Berlin, 1926, 262 S.

62. Hausen H. The history of Geology and Mineralogy in Finland 1828-1918. — Helsinki, 1968, 147 p.

63. Kobell F. Geschichte der Mineralogie. — München, 1864, 703 S.

64. Lenz H.O. Mineralogie der alten Griechen und Römer. — Wiesbaden, 1861, 194 S.

65. Marx C.M. Geschichte der Kristallkunde. — Karlsruhe U.Baden, 1825, 314 S.

66. Naumann C.F. Elements der Mineralogie. — Leipzig, 1859.

67. OrceI J. Les sciences mineralogiques au XIX^e siecle (Mineralogie, Cristallographie, Lithologie. D. 92) — Paris: Univ de Paris, 1962, 39 p.

68. Paulitsch P. Der Weg der Mineralogie. — Aufschluss, 1982, v. 33, N 11, S. 421-429.

69. Tertsch H. Das Geheimnis der Kristallwelt. Roman einer Wissenschaft. — Wien, 1947, 391 S.

70. Werner A.G. Von den äußerlichen Kennzeichen der Fossilien. — Leipzig, 1774, 304 S.

SUMMARY

History of mineralogy and the evolution of mineralogical knowledge are the existence of mineralogical ideas. Fundamental mineralogical ideas developed in close interconnections, they enriched each other, differentiated or assimilated one another, struggled winning or perishing in this. Therefore, analyzing the general tendencies of the mineralogy it is worth while examining not separate ruling ideas, but their totality. For each historical moment the totality of fundamental ideas can be expressed by the dominant view on the origin of minerals, by the leading approach to the objects of mineralogy. From historical aspect these approaches, naturally, changed each other, having determined the main stages of the development of mineralogy and the existing periodicity of its history. To modern mineralogical science they entered as components of a unique theoretical-methodological system.

First approach belonging to the pre-history of mineralogy as a science, to the proto-mineralogical stage is characterized by the consideration of minerals as fossil bodies of an indefinite nature, as "stones". Minerals are examined together with fossils, rocks in the general system of "stones", but many scientists try to distinguished from the chaos of the stone world its homogeneous discrete components. Mineralogy, as a matter of fact, is a practical knowledge about stones ranging from handicraft to art, but gradually the elements of scientific methodology and theory begin forming in it (works of arabian scientists, G.Agricola). Such notions have dominated till the XVIIth century and in some works have been observed later (Walch, C.Gesner).

The second approach, regarding minerals as physical bodies, stated itself since the beginning of the XVIIth century and was due to dominant idea about the physical homogeneity of minerals. It began with the discoveries of the first mineralogical laws (J.Kepler, N.Steno, E.Bartholinus, Ch.Huyghens et. al.). In examing minerals attention is paid to their homogeneity, physical properties, shape (A.Werner, R.J.Haüy, Rome de Lisle, Ch.Weiss, K.Naumann, F.Mohs, N.I.Koksharov et. al.). It required a certain idealization of objects — reducing the spare of real crystals to the spare of ideal geometrical models, neglecting the deviations of individuals from the standard both in constitution and in properties, etc. Thanks to the physical approach the structure of classical crystallography was formed, the embryos of all the main trends of mineralogy appeared. The problems of genetic mineralogy were reduced mainly to the problems of cristallization and the growth of mineral individuals, but since the chemical side of this phenomena was still unknown, genetic ideas were mainly suppositional in character.

The third approach characterizes the consideration of minerals not only as fossil physical bodies, but as chemical combinations (M.V.Lomonosov, V.M.Severgin, T.Bergman, I.Berzelius, G.Tschermak, K.Rammelsberg, Delter, V.I.Vernadsky, P.Groth, A.E.Fersman, V.M.Goldshmidt, P.A.Zemiatchensky, N.M.Fedorovsky and others). It appeared in the last quarter of the XVIIIth century and was characteristic for mineralogy of the XIXth and beginning of the XXth century. Together with the physical approach it defined the main features of modern mineral classification, created the study about isomorphism, laid the foundations of mineralogical thermodynamics, etc. Owing to this approach the study about mineral genesis got a scientific basis. The concept of minerals as the products of chemical reactions taking place in the Earth crust were developed in it (V.I.Vernadsky, A.E.Fersman, V.M.Goldshmidt, A.P.Vinogradov and others), the concept of the growth of crystalline mineral individuals were revised from the chemical point of view.

The fourth approach is the concept of minerals as crystal lattices with three-dimensional regular distribution of atoms in their interstitials. This approach based on Fedorov's crystallochemical analysis become guiding since the 1920-s, when the discovery of M.Levy allowed to study the real crystal structure of minerals with the help of X-rays. Crystallochemistry created the conditions for the synthesis of physical and chemical directions, allowed to reveal the correlations between the composition, structure and properties of minerals and to prognosticate the properties. In genetic mineralogy registrations of crystallochemical notions allowed to develop quite a good theory of the morphogenesis of mineral individuals, to learn more precisely the physico-chemical analysis of mineral-forming processes. On the basis of crystallochemical laws, crystallochemical properties of atoms and new crystallochemical classification of minerals wide opportunities for mineralogenetic prognoses were opened.

The modern stage of mineralogy development is characterized by concentration on real mineral individual as discrete constituents of the mineral world, on their chemistry, structure, shape, internal construction, functions, interrelations with the host and environmental geological region. The studies during the past three decades resulted in a new view on the mineral as a crystalline organism and gave rise to the new, fifth stage of the mineralogy development. The essence of the new approach is defined as follows: "Minerals, i.e. crystals and grains, in whose shape original chemical combinations and physico-chemical phases exist, are considered in mineralogy as unique organisms, individuals with their own anatomy, always living in their own way ... The understanding of the mineral as an organism and its natural history, causing all properties, conditions and locations of minerals is the aim, the prerogative of the mineralogical science" (11, p. 6-7).

The mineral in the recent understanding is a complicated integral functional system, developing according to mineralogical laws. In theory, practice and methodology of the mineralogical science the mineral is examined from different purposeful positions:

-- as a physical body constructed from regular space distributed atoms and thus characterized by specific properties;

-- as a chemical combination, as a gigantic molecule, as a product of natural chemical reactions;

-- as an elementary constituent of rocks and ores, as an element of the Earth lithosphere and space bodies;

-- as a crystalline organism, characterized by a specific structure and functions;

-- as a source of genetic information, coded in its construction and properties;

-- as an object of practical utilization, being of use and aesthetic pleasure.

In "organismic approach" to the mineral traditional physical, chemical and crystallochemical considerations are thus organically synthesized.

Resulting from the peculiarities of mineralogy development the following scheme of its periodization is considered to be the most rational:

-- the period of practical knowledge about stones (from ancient times to the end of the VIIth century) -- pre-history of mineralogy, instigations of the empirical mineralogical knowledge in the system the antique nature-philosophy, concentration of attention on the practical utilization of minerals and their most striking properties;

-- mining-handicraft period (the VIIIth-middle of the XVIth century) -- the birth of the mineralogy as a science because of the requirements of mining, metallurgy, medicine, alchemy, jewelry art, the understanding of mineral properties, the elaboration of the methods of studying and diagnosing minerals, first generalizations of mineralogical data in books, lapidaries, the formation of genetic concepts (it is worth while distinguishing two sub-periods: middle-Asian -- VIIIth-XVIth centuries and European -- XIVth-XVth centuries);

-- physical-morphological period (the middle of the XVth-XVIIIth centuries) -- formation of scientific mineralogy, wide introduction of quantitative estimations in the research methods, determination of the first fundamental mineralogical laws, accumulation of knowledge about minerals;

-- chemical-genetic period (XIXth century -- the 20's of the XXth century) -- formation of the precise descriptive mineralogy on the basis of chemical composition research of minerals, elaboration of mineral classifications, creation of principles of genetic mineralogy;

-- crystallochemical period (the 20's-60's years of the XXth century) --

examination of the mineral crystal structure, rebuilding of the whole system of mineralogical on the crystallochemical basis, formation of classical mineralogy;

— modern (structural-genetic) period (since the 60's of the XXth century) — development of mineralogy on the basis of a systematic ("organismic") approach to minerals, "geologization" of mineralogy.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Основные этапы истории минералогии	5
Объекты, предмет и структура современной минералогии	7
Развитие представлений об объектах минералогии и рост фонда минералов	7
Развитие структуры м и н е р а л о г и и	15
Идеи о дискретности минерального мира и минеральных индивидах	19
Развитие учения о конституции минералов	21
Развитие физики минералов	26
Эволюция систематики минералов	28
Синминералогические идеи	29
Топоминералогические исследования	31
Зарождение и развитие генетической минералогии	31
Прикладная минералогия	36
Общие закономерности развития минералогии, периодичность ее истории, особенности современного этапа	37
Литература	43

CONTENTS

Introduction	3
The main stages of mineralogical history	5
Objects, subject and structure of modern mineralogy	7
Development of conceptions of mineralogical objects and growth of the mineral fund	7
Development of the mineralogical structure	15
Ideas about the discretion of the mineral world and mineral individuals	19
Development of the study about mineral constitution	21
Development of mineral physics	26
Evolution of mineral systematics	28
Sin mineralogical ideas	29
Topomineralogical researches	31
Birth and development of genetic mineralogy	31
Applied mineralogy	36
General regularities of the mineralogy development, periodicity of its history, peculiarities of the modern stage	37
Literature	43