

УДК 549

О СУЩНОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО МИРА И ПАРАДИГМАХ МИНЕРАЛОГИИ

В. А. Попов

Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, popov@mineralogy.ru

PRINCIPLES OF MINERAL WORLD AND PARADIGMS OF MINERALOGY

V. A. Popov

Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, popov@mineralogy.ru

Приведены соображения к определению сущности единого минерального мира во Вселенной. Органические и неорганические минералы возникают путём кристаллизации – природного явления в пересыщенных средах. В процессе роста кристаллы разделяют атомы элементов и их изотопы с образованием зональности и секториальности. Законы анатомии кристаллов минералов определяют необходимость перехода к новой парадигме минералогии.

Илл. 3. Библ. 10.

Ключевые слова: минеральный мир, минералогия, кристаллизация, сущность, парадигма, анатомия минералов.

The ideas on principles of the entire mineral world in the Universe are given. The organic and inorganic minerals are the products of crystallization, which is a natural event occurred under oversaturated conditions. During the growth, the crystals fractionate atoms of elements and their isotopes that leads to formation of zoning and sectoriality. The laws of crystal anatomy govern the necessity of a new paradigm of mineralogy.

Figures 3. References 10.

Key words: mineral world, mineralogy, crystallization of minerals, paradigm, anatomy of minerals.

Минералогия – наука каменная.

Д. П. Григорьев

О специфике минерального мира

Что является объектом науки минералогии? Что такое минералы, минеральные виды? Дискуссии на эти темы имеют длительную историю. В России эти вопросы интенсивно обсуждались в 70-х годах XX века. Далее острота дискуссий снизилась, но в начале XXI века вновь поднимаются старые вопросы. Серию ярких очерков по фундаментальной и генетической минералогии с большим литературным обзором написал Б. Е. Боруцкий (2005; 2008; 2010; 2012). В его работах отображается позиция многих минералогов, размышляющих о сущности минерального мира и о науке минералогии. В предлагаемой статье представлены дополнительные соображения по обозначенной теме.

Что есть сущность минерального мира? Прецеденты определения сущности чего-либо надо искать в философской литературе, беря наиболее конструктивные из них в рассмотрение. «Оценивать определение (кроме логической и операциональной корректности самой формулировки) можно лишь в аспекте эффективности его использования...» (Покровский, 2004, с. 171). Сущностью объекта предлагается понимать то, что неизменно (инвариантно) присуще ему во всех его модификациях, и то, что позволяет отличить его от других объектов аналогичного ранга (Покровский, 2004). Если проанализировать учебные и справочные определения термина «минералы», то всюду на первый план выходит представление о кристаллах,

твёрдом кристаллическом веществе. Это и есть самое существенное (неизменное): минералы – твёрдое кристаллическое вещество Вселенной, её «минеральный мир».

Если говорить о природных системах аналогичного ранга, то можно предложить вещественные системы, состоящие преимущественно из атомов и молекул – твёрдые, жидкие и газообразные. Свойство твёрдости появляется только у кристаллов. Фактически, в таком толковании, «твёрдый» означает «кристаллический» (синонимы). Однако считается, что стекло – твёрдое, но некристаллическое (аморфное) образование. Такое убеждение связано с приборными трудностями наноминералогических исследований. Ещё в 1921 году академик А.А. Лебедев выдвинул «кристаллитную гипотезу» строения стекла. С тех пор появилось множество других теорий, которые объясняли частные объекты. Общее между ними то, что в стёклах обязательно присутствуют тела с атомными структурами, имеющими дальний порядок, т. е. наноразмерные (и более крупные) кристаллы. Эти тела и создают свойство твёрдости у стекла.

Все минералы образуются как результат природного явления – кристаллизации. Кристаллизация – процесс выстраивания атомов и молекул в виде структур с дальним порядком. Так образуется кристаллическое тело. Это явление существует во всей Вселенной подобно существованию магнетизма, гравитации, излучения волн и частиц. Кристаллизация осуществляется только при определённом состоянии вещественных систем, которое называется пересыщением. Состояние пересыщения для кристалла минерала определяется такой концентрацией «строительных частиц» в среде, при которой силы их взаимодействия друг с другом больше сил их взаимодействия с частицами среды (растворителя). Или по-другому: состояние пересыщения для кристалла соответствует концентрации строительных частиц в среде выше концентрации насыщения, то есть выше растворимости минерала в данной среде при конкретных физико-химических параметрах. Для расплавов термин «пересыщение» можно заменить термином «переохлаждение». Фактически в создании состояния пересыщения участвуют все мыслимые физико-химические параметры, влияющие на силы взаимодействия частиц друг с другом.

Все минералы могут образовывать кристаллы, огранённые множеством простых форм в разных

комбинациях в пределах конкретного вида симметрии (непреложный факт). Можно предполагать, что это множество отражает реализацию явления кристаллизации в различных условиях разными типами строительных частиц. ***Строительные частицы разных типов имеют разную величину, геометрию и симметрию сил связи, поэтому могут встраиваться в кристалл только в определённых положениях (ориентациях).*** Это условие встраивания определяет наличие плоских граней тех или иных простых форм на кристалле. В общем случае разные сорта атомов образуют несколько типов строительных частиц, которые встраиваются преимущественно в определённые грани, создавая пирамиды нарастания граней. Например, химическое моделирование типов частиц на основе кремния и кислорода насчитывает их более 50. ***Количественные соотношения разных строительных частиц в среде определяют относительные скорости роста граней разных простых форм. Эти соотношения определяют габитус кристаллов.*** Образно говоря, Природа «управляет» кристаллизацией через морфологические типы строительных частиц, которые могут встраиваться в кристалл строго ориентировано и этим создают плоские грани разных простых форм подобно собиранию пазлов (рис. 1). Этот принцип положен Природой и в образование жидких кристаллов, у которых возможно наращивание только в одном или в двух направлениях (в плоскости).

Кристаллическое вещество, изучаемое в органической химии, редко рассматривается в мире минералов. Разделение на органическую и неорганическую химию произошло исторически и совершенно условно, никакого фундаментального различия между объектами (кристаллами) этих ветвей химической науки нет (рис. 2 и 3). Более того, встречаются минеральные агрегаты, где органические и неорганические минералы выросли совместно

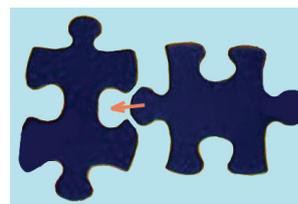


Рис. 1. Образная модель строительных частиц для строго ориентированного встраивания на гранях конкретных простых форм.

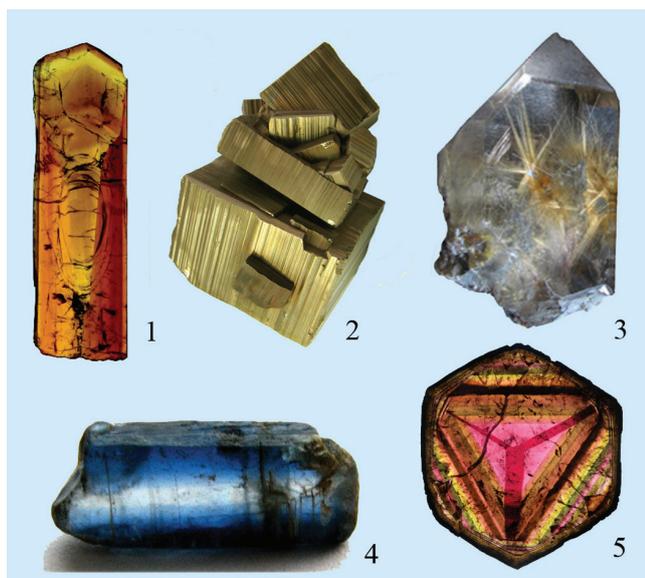


Рис. 2. Кристаллы и анатомические картины кристаллов неорганических минералов: 1 – шерл, 2 – пирит, 3 – игольчатый рутил в кварце, 4 – кианит, 5 – эльбаит.

и одновременно, существует сокристаллизация таких минералов в живых организмах (белки+оксалаты+карбонаты+фосфаты и другие). Кристаллы белков, оксалатов, карбонатов и т. д. являются представителями единого минерального мира. Они анатомически одинаково устроены, т. е. зональны, секториальны, есть двойники, расщепление, есть распад твёрдых растворов, есть явления синтаксии и эпитахии и т. д. Для исследований органических и неорганических минералов может быть применена единая методология, позволяющая получать необходимую информацию об объектах.

Искусственных минералов не существует, их всегда растит природа (собирает из атомов, из атомных группировок). Искусственными могут быть лишь кристаллизационные системы и обработка камня. Можно говорить об искусстве создания кристаллизационных систем, но в них кристаллы растут сами (естественно). Все химические вещества, полученные в экспериментальных условиях, тоже минералы. Человек принципиально не может искусственно из атомов собрать минерал. Можно предположить, что все «искусственные» соединения, полученные человеком в экспериментальных (искусственных) системах, есть в природе за их пределами. Вселенная бесконечна, комбинаторика химического состава и физических условий необозрима. Человек может лишь повторить что-либо из бесконечной комбинаторики Вселенной. Следова-



Рис. 3. Кристаллы и анатомические картины разных белков (<http://ru.wikipedia.org/wiki/Белки>)

тельно, «искусственное» кристаллическое химическое соединение есть минерал, созданный Природой. Отсюда же следует предположение, что все уже «синтезированные человеком» в искусственных системах миллионы веществ обязательно есть где-либо во Вселенной.

Очевидно, при изучении минерального вещества не следует смешивать задачи диагностики минералов и считывания генетической информации. Для диагностики (идентификации) минерала необходимы и достаточны состав и структура. Следовательно, классификация минералов (минеральных видов) должна быть кристаллохимической. Генетические особенности минералов (типоморфизм) не относятся к их диагностике. Они относятся к отображению минералами условий кристаллизации. Следовательно, речь должна идти о классификации условий кристаллизации. Минеральный вид не является отображением всей совокупности каких-либо заведомо определённых минеральных индивидов Вселенной со всеми их особенностями конституции. В модели минерального вида можно учесть только состав и структуру изученных индивидов. Классифицируются модели минеральных видов, а не минеральные индивиды. В биологии виды тоже не являются континуумами индивидов, а лишь моделями (образами) с приписанными из статистических наблюдений характеристиками. В природе все множества «пушисты», т. е. не имеют чётких границ.

Полемизируя с Б.Е. Боруцким, Р.К. Расцветаева и Н.В. Чуканов (2006, с. 181) среди исключений в минералогии пишут: *«Минералы – твёрдые вещества. Но ртуть – жидкий минерал. Манассеит – гидроталькит фактически политипы, но для них сделано исключение как для видов. Минерал должен иметь природное происхождение, но уже утверждённые техногенные минералы (например, фторэллестадит) традиционно продолжают считаться минеральными видами»*. Там же они дают определение: *«Под минералом понимается твёрдое, индивидуальное в кристаллохимическом смысле вещество, образовавшееся в ходе геологических процессов»*. Конечно, «кристаллохимический смысл» надо бы раскрывать и определять; «геологический процесс» надо определить – он только на планете Земля (Гео) или во Вселенной? Почему процесс кристаллизации минералов надо называть геологическим? Процесс кристаллизации минералов есть природное явление – сборка кристаллов из атомов и группировок атомов в пересыщенных средах. Есть большая разница между терминами «техногенный минерал» и «минерал зоны техногенеза»: технически (искусственно) минерал не создать, а вырасти в техногенной (искусственной) системе он может. Термин «техногенный (искусственный) минерал» этимологически неудачен. Человек не может сам выстроить атомы в виде структур с дальним порядком. Пример ртути как жидкого минерала тоже неудачен: при температуре минус 39°C ртуть уже находится в виде кристаллов. Вообще любой минерал можно перевести в жидкое состояние. Поэтому речь должна идти о возможных условиях во Вселенной, а не только об условиях проживания человека.

«Главным критерием разграничения минеральных видов является наличие для выделяемых совокупностей минеральных индивидов самостоятельных полей стабильности, внутри которых отсутствуют резкие границы фазовых переходов, области фазового распада и сохраняется химическая и структурная индивидуальность минерала, выражающаяся в частности в сохранении типа кристаллической структуры и соотношений между главными химическими компонентами как наиболее существенные их признаки» (Боруцкий 2008, с. 148). Реально никто из минералогов при выделении минерального вида не оперировал совокупностями индивидов, а строил модель минерального вида, исходя из имеющихся данных и представлений с использованием экстраполяции и

интерполяции на диаграммах. Вообще, если минерал есть (у нас в руках), то обязательно есть «поле его существования». Также реально: полей стабильности минералов на разнообразных диаграммах можно построить множество. Для построения любых диаграмм приходится упрощать сложные природные взаимодействия, что далеко не всегда ведёт к лучшему пониманию их. Как говорил замечательный хирург и кибернетик Н.М. Амосов, понять – значит смоделировать и привыкнуть пользоваться. Диаграммы с полями стабильности минералов отчасти отображают известные экспериментальные данные, но не являются полным отображением всех возможных в природе условий. Минералогическая наука накопила уже много данных о сокристаллизации полиморфов или минералов «запрещённых на диаграммах парагенезисов». Эти наблюдения говорят о недостатках в теоретических физико-химических разработках, в которых не принято сомневаться в геологических науках.

Ещё ярче геологическое восприятие минерального мира Б.Е. Боруцкий подаёт в очерке № 5 (2010, с. 153): *«Минеральные виды должны выделяться и систематизироваться минералогами в соответствии с законами геологии – естественно-исторической науки»*. В тексте статьи не приведено ни одного геологического закона, речь идёт только о физико-химических условиях. *«Обсуждая наше предложение о необходимости принятия в качестве главного видообразующего критерия наличие для выделяемого минерального вида самостоятельного поля стабильности, В.С. Урусов предложил заменить понятие поля стабильности на понятие поля существования»* (Боруцкий, 2010, с. 163). Диаграммы можно строить на разных принципах с введением множества допущений. *«Диаграммы состояния не управляют ростом кристаллов минералов»*. На диаграммах отображается лишь часть информации о кристаллизации веществ. Поэтому «поля стабильности или существования» являются антропогенными «бумажными полями» в рамках принятых допущений. В этом смысле говорить о метастабильной кристаллизации можно лишь условно, понимая ограниченность допущений.

Важное высказывание сделано Б.Е. Боруцким (2012, с. 151) в очерке № 6: *«Без минералогического изучения невозможно сделать убедительные петрогенетические и рудогенетические выводы по той причине, что и породы, и руды сложены агрегатами минералов, химический состав которых и*

структурные особенности целиком определяются конкретными минералообразующими процессами. А их в свою очередь невозможно понять и объяснить без соответствующих минералогических знаний. Чем детальнее мы изучаем минералы – тем более обоснованными будут наши генетические выводы и представления». Вообще из этого заключения Б.Е. Боруцкого следует, что **петрогенез и рудогенез (а также металлогения) есть минерагенез (минерагенез)**, поскольку речь идёт о происхождении минеральных (каменных) тел. Все металлы есть минералы (кристаллические вещества). Можно утверждать, что любые минералы и минеральные агрегаты могут быть чем-либо полезными человеку и стать рудой. С научной точки зрения, **рудогенез ничем специфичным не отличается от минерагенеза**, но сам термин обладает магическим свойством уводить исследователя в особые размышления, связанные с экономической жизнью общества.

Парадигмы минералогии

Минералогическое знание со временем эволюционировало (Юшкин, 1999; и др.). Каждый исторический интервал времени можно выразить через ведущий познавательный подход к объектам минералогии, через основную идею или, по современному, парадигму науки.

Первая (примитивная) парадигма минералогии характеризуется представлениями о минералах как ископаемых телах (камнях). Это можно назвать «камневедением» в ремесле, медицине, военном деле и в эстетике: каменный, бронзовый и железный века развития человечества.

Вторая парадигма сформировалась сравнительно недавно в связи с общим развитием науки с начала XVII века. Минералы стали рассматриваться как однородные тела с определёнными физическими свойствами. Диагностика минералов производилась по физическим свойствам и по форме кристаллов. Развитой химии ещё не было.

В XVIII–XIX веках произошёл переход к химической парадигме минералогии. Минерал представлялся прежде всего как соединение, образовавшееся в процессе химических реакций. Появилась химическая классификация минералов.

Конец XIX и начало XX веков в минералогии характеризуются бурным развитием кристаллохимического направления. Минерал предстал перед нами в образе кристаллической решётки с трёхмерным регулярным расположением атомов в её узлах.

Кристаллохимия явилась синтезом физического и химического направлений. Возникла кристаллохимическая классификация минералов. Для идентификации минерала необходимо и достаточно знать его состав и структуру. Кристаллохимическая классификация удовлетворяет этому требованию.

Однако для использования минерала человеком одной кристаллохимической модели оказалось недостаточно. Состав и свойства минеральных индивидов могут существенно меняться в некоторых пределах. Появилось учение о типоморфизме минералов, которое интенсивно развивалось весь XX век. По-видимому, это учение составляет парадигму минералогии XX века.

Конкретные характеристики (величина индивидов, форма кристаллов, зональность, секториальность и т. д.) минералов определяются их онтогенезом (историей «жизни»). К середине XX века накопилось много сведений о неоднородностях внутри минеральных индивидов. Профессор Д.П. Григорьев (1971) свёл эти данные в виде законов анатомии кристаллов. Из них следует, что **все элементы анатомии кристаллов (зоны роста и пирамиды нарастания граней разных простых форм) физически и химически различны**. В некоторых индивидах (кристаллах) встречается несколько минеральных видов по современной классификации. В соответствии с определением фазы в физико-химической системе как однородной субстанции минеральные индивиды не являются фазами этой системы. Фазовые границы в минеральных индивидах и агрегатах следует определить по-новому. Возможно, это будут границы между зонами и секторами с резко различными составами, если это будет полезно с термодинамической точки зрения. Теория типоморфизма должна быть пересмотрена и уточнена в соответствии с законами анатомии кристаллов. Таким образом, парадигма минералогии XX века требует изменения.

Новая парадигма XXI столетия утверждает необходимость исследования явления и механизмов разделения атомов элементов и их изотопов в процессе образования кристаллов минералов (возникновение секториальности) и использования их для создания новой теории роста кристаллов, обновлённой теории типоморфизма минералов, широкого применения их в науке, технике и технологиях (например, технологиях обогащения изотопов).

О направлениях минералогии

Н.П. Юшкин (1999, с. 19–20) предполагал необходимость развития минералогических направлений XXI века: разработка новой «реальной» кристаллохимии минералов (визуализации кристаллической структуры на атомном и надатомном уровнях); исследование дисперсного и ультрадисперсного состояния вещества; разработка теории и методологии микроминералогии и наноминералогии; проблема сингенеза, взаимодействия и коэволюции живого и минерального миров; разработка научных основ биоминералогии, медицинской минералогии; исследования биоминералогических проблем биоэкологии; оформление нового научного направления – витаминералогии (минералогии жизни); минеральный организмобиоз; концепция жизни углеводородной кристаллизации; геотехногенез и техногенное минералообразование. Почти все эти направления находятся вне серии геологических наук.

И далее, в системе геологических наук: «Разработка научной системы прикладной минералогии, включающей топоминералогическое изучение рудоносных районов на основе минералогического картирования, поисково-оценочную минералогическую технологию, искусственное получение минералов и материалов на минеральной основе... Развитие региональных минералогических исследований, создание региональных минералогических обобщений... Создание методического аппарата для решения широкого комплекса геологических и космогенетических задач по минералогическим данным» (Юшкин, 1999, с. 20).

В книге «Топоминералогия» Н.П. Юшкин (1982, с. 7) высказал следующую мысль: «В XX веке в геологию интенсивно внедрялись геофизические и геохимические методы, постоянно совершенствующиеся и достигшие высокой эффективности. Методы же региональной и полевой минералогии развивались лишь в частных направлениях и в целом недалеко ушли от древнего шлихового метода. И сегодня мы с сожалением должны признать, что минералогия ещё не предложила своего комплексного минералогического метода прогноза, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых, сравнимого по теоретической обоснованности, методической обработке и эффективности с геофизическими и геохимическими методами». Поскольку эта мысль отображает представления геологической общественности о роли минералогии

в оценке месторождений полезных ископаемых, следует её прокомментировать. В минералогии, конечно, есть весьма эффективные методы оценки месторождений полезных ископаемых (Попов, Попова, 1992). Абсолютное большинство месторождений в мире открыто на основе прямых минералогических наблюдений. В.И. Вернадский в начале XX века называл результаты топоминералогических работ основным субстратом минералогии, её жизненной почвой.

Полезные ископаемые предстают перед нами в виде минеральных тел. Минеральные тела имеют конкретные физические свойства и создают физические поля, которыми занимается наука геофизика. Вопрос: могут ли физические поля дать информацию о минеральном теле, достаточную для технологии минерального сырья (раз речь идёт о месторождении)? Ответ: нет, не могут. Технология минерального сырья может быть построена только на количественных минералогических данных. Тогда о каких сравнениях теоретической обоснованности геофизических и геохимических методов поисков и *оценки месторождений полезных ископаемых* (руд) можно говорить? Они по определению термина «технология *минерального сырья*» не могут соперничать с минералогическими методами. Минеральные тела имеют пространство и время (относительный возраст), поэтому их можно коррелировать, строить реалистичные модели (карты, разрезы). Геофизические и геохимические методы развиты для поисков аномалий в пределах физических и химических полей (точнее – виртуальных моделей). Реальных границ аномалии не имеют. Ощущение слабости минералогических методов у естествоиспытателей может возникнуть лишь в связи с личным восприятием и пониманием наук, которое формируется под влиянием действующей парадигмы.

Заглядывая в будущее, Н.П. Юшкин (1999, с. 21) писал: «Если в предыдущем тысячелетии произошло становление минералогии как фундаментальной науки, её дифференциация, то в третьем тысячелетии произойдёт синтез минералогического знания, геологизация минералогии, синтез живого и минерального миров. В новом тысячелетии неизбежны крупнейшие открытия, которые вызовут революционные преобразования в естествознании и в жизни человека. И это заставляет нас трепетно уважать нашу минералогическую науку, беззаветно служить ей».

Минералогия как фундаментальная наука, изучающая кристаллическое вещество Вселенной (минеральный мир), подлежит дальнейшему совершенствованию. Будет расти список её направлений. Высшие учебные заведения должны увеличить выпуск минералогов, усилить их подготовку. Фундаментальность минералогии для естествознания, а не только для серии геологических наук, должна быть оценена научным сообществом и отношением к тематике научных журналов, и к рубрикации дисциплин, например, в Докладах Российской академии наук.

Литература

- Боруцкий Б.Е.* Очерки по фундаментальной и генетической минералогии: 1. Что же такое «минерал» и «минеральный вид»? // Новые данные о минералах. Вып. 40. М.: ЭКОСТ, 2005. С. 159–166.
- Боруцкий Б.Е.* Очерки по фундаментальной и генетической минералогии: 3. Минералы переменного состава с переменной структурой и проблемы видообразования в минералогии // Новые данные о минералах. Вып. 43. 2008. С. 148–173.
- Боруцкий Б.Е.* Очерки по фундаментальной и генетической минералогии: 5. Минеральные виды и метастабильное минералообразование // Новые данные о минералах. Вып. 45. 2010. С. 153–166.
- Боруцкий Б.Е.* Очерки по фундаментальной и генетической минералогии: 6. Опыт использования детальных минералогических исследований для решения проблем петрогенеза и рудогенеза на примере Хибинского массива // Новые данные о минералах. Вып. 47. 2012. С. 128–157.
- Григорьев Д.П.* О законах анатомии кристаллов // Кристаллография, 1971. Т. 16. Вып. 6. С. 1226–1229.
- Покровский М.П.* К понятию «сущность»: попытка конструктивного осмысления // Новые идеи в философии природы и научном познании, вып. 2. Екатеринбург: УрО РАН, Институт философии и права, 2004. С.168–211.
- Попов В.А., Попова В.И.* Методика и результаты минералогического картирования вольфрам-оловянного месторождения Тигриное (Приморье). Екатеринбург: Наука, 1992. 92 с.
- Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В.* Минеральный вид или минеральная разновидность? // Новые данные о минералах. Вып. 41. М.: ЭКОСТ, 2006. С. 172–183.
- Юшкин Н.П.* Минералогия на пороге нового тысячелетия // Уральский минералогический сборник № 9. Миасс: ИМин УрО РАН, 1999. С. 3–21.
- Юшкин Н.П.* Топоминералогия. М.: Недра, 1982. 288 с.