

МИНЕРАЛОГИЯ

Академик А. Е. ФЕРСМАН

О ЧИСЛЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВИДОВ

1. Вопрос о числе известных в земной коре минеральных видов в общем получает более определенное решение лишь при уточнении самого понятия «минеральный вид». М. Н. Годлевский⁽¹⁾ и А. Г. Бетехтин⁽²⁾ совершенно правильно ввели физико-химическое начало в определение, однако не могли избежать осложнений при анализе дисперсно-коллоидальных систем и изоморфных смесей. Чисто формальные подходы к классификации таких многофазовых систем неприменимы, тем более что минерал является естественно-историческим телом, для которого закономерными и определенными являются нередко совершенно специфические и сложные системы; тем более нельзя подойти чисто формально к разделению изоморфных рядов на самостоятельные виды и разновидности.

2. Незначительность общего числа минеральных видов не выявляет особой принципиальной или практической важности этого вопроса; необходимо лишь при анализе природных явлений применять одни и те же понятия, хотя бы условные.

Как подсчитала О. М. Шубникова⁽³⁾, из 6 759 названий минералов только 2 177 относятся к более определенным видам и 4 592—к разновидностям. Каждый год приносит около 20—25 новых минеральных видов^(4,5), так что надо считать, что общее количество видов в доступной нам земной коре не превысит 3 000*, что в общем очень невелико по сравнению с растительным и животным миром**. Распределение по группам^(6,7,5) показывает, что в последние годы особенно растет число соединений редких элементов (В, Ве, Ge, Se, Ti, Nb).

Число минеральных видов оказывается таким образом резко ограниченным, причем основное ограничение в число сочетаний вносится характером распределения химических элементов и постоянством внешних условий в определенных районах геохимических ассоциаций. Сочетание этих двух факторов приводит к значительному сокращению теоретически возможных комбинаций элементов.

Если бы соблюдалось только первое условие, а внешние факторы колебались в широких масштабах, то этого сокращения не произошло бы. А между тем нам известно из данных геохимии, что ход природных про-

* В. Вернадский (1934 г.) считает, что число дойдет до 6 000 (включая 1 500 видов воды).

** Р. Гессе (1929 г.) дает число животных видов около 1 000 000; Ван-Тигем (1918 г.) для растений дает 175 000 видов.

цессов закономерен, что еще при первичном охлаждении магматических очагов идет закономерное и строгое распределение элементов в связи с прото-, мезо- и телокристаллизацией и что в длительном процессе обычной геохимической эволюции ход образования минералов тесно связан с дифференциацией элементов. В конечные продукты, например пегматиты гранитных магм, ряд элементов совершенно не доходит, и если бы допустить например внедрение большого количества никеля или кобальта в такой остаточный пегматит, то этим был бы вызван ряд новых и своеобразных минеральных видов.

Строгая закономерность хода природных химических реакций вызывает ограниченность их типов; это в свою очередь ведет к обособлению химических элементов в определенных участках, в определенных ассоциациях и в определенной термодинамической обстановке, а все это, вместе взятое, ведет к определенным, закономерным и относительно немногочисленным сочетаниям химических элементов, т. е. к немногим минеральным видам.

Можно говорить в определенных геохимических комплексах о «запрещенных» элементах и следовательно о запрещенных сочетаниях; например: о ванадии и кобальте—в гранитных пегматитах, о сурьме и мышьяке—в агапайтах и литии и бериллии—в перидотитах и т. д. Обычное запрещение элементов и их сочетаний и, наоборот, большое постоянство некоторых ассоциаций элементов в их сочетаниях вызывают ограниченность типов решеток и числа минеральных видов.

Но, как в физике запрещенные в земных условиях линии оказываются возможными и реальными в условиях космических тел с особыми условиями рассеяния, так и по отношению к «запрещенным» минеральным комбинациям можно себе представить такие «случайные» и редкие сочетания условий, когда запрещение окажется фактически снятым; например гранитный пегматит врывается в марганцевое месторождение, сульфидная жила сливается с гранитным пневматолитом и т. д.

Мы можем, как правило, установить, что наибольшее количество новых химических сочетаний и новых минеральных видов связано именно с районами наложения разнородных геохимических систем, повторных тектонических процессов, перекрытия нескольких геофаз и типов тектонических и эпейрогенических движений, и, чем необычнее сочетание геологических и геохимических явлений, чем «запрещеннее» эти сочетания, тем больше новых соединений мы встретим. И обратно, районы большого количества новых видов суть вместе с тем районы особых геохимических явлений, стоящих особняком как по комплексу минеральных тел, так и по их промышленным чертам; недаром Лонгбан, Хибины и Бельгийское Конго—каждый в своем роде—является единственным месторождением полезных руд: Mn, Fe, Zn—в первом; P, TR, Ti, Al—во втором и U, Cu, Co, Pb—в третьем случае.

3. Однако наша проблема делается еще более интересной, если мы рассмотрим число видов по отдельным геохимическим системам.

В этом отношении мы можем наметить такую схему:

1. Очень высокие температуры (2 000—5 000°). Число известных соединений как по экспериментальным данным (6), так и по астрофизическим (7) около 30
2. Температуры образования метеоритов (1 200—1600°). Число твердых и газообразных минеральных видов хорошо известно (по Фаррингтону) около 40
3. Температуры образования магматических пород (1 300—800°) (не включая пегматитов). Число видов 120
4. Температуры кристаллизации гранитных и нефелин-сиенитовых пегматитов (800—350°). Число видов 400
5. Температуры пневматолитов и гидротермалитов (600—50°). Число видов 500

6. Температуры гипергенные (в том числе железных шляп).	
Число видов*	800

Эта сводка интересна в связи с имеющимися в литературе мнениями по этому вопросу: так, И. и В. Ноддак⁽⁸⁾ связывают малое число видов в метеоритах по сравнению с Землей с малой величиной того космического тела, которое вероятно дало начало метеоритам; В. М. Гольдшмидт⁽¹⁰⁾, возражая, отмечает, что большое количество минеральных видов связано с выделением из водных растворов или богатых водой магм, и поэтому различие определяется характером космического тела и его способностью сохранять в своих наружных оболочках летучие компоненты.

4. Мы можем подвергнуть эту проблему анализу с точки зрения энергии и процессов; приведенная выше таблица нам показывает, что число видов увеличивается с понижением энергии образования решеток и что при очень высоких температурах малое количество сочетаний отвечает очень большим интервалам в количестве энергии, выделяемой ими (по расчету на свободные ионы); образующиеся в этих условиях соединения высоких валентностей с высокими FК и U практически немногочисленны, просты по своему строению и по числу атомов (ионов) в молекуле. Тепловые движения атомов и ионов повидимому препятствуют образованию более сложных построек. Зато легче происходит замещение в самих решетках узлов изоморфными или эндокриптными примесями.

По мере понижения температуры мы переходим в область значительно более близких энергетических уровней, количество возможных сочетаний делается гораздо более разнообразным, тем более что возникают многочисленные комплексные анионы (с O или S) со все усиливающимися, развертывающимся многообразием их возможных сочетаний. Если разности энергии решеток в первые высокотемпературные геофазы процесса измерялись тысячами калорий (50 V) на 1 моль, то в области гидротермальных процессов разница обычно колеблется в пределах 50—100 кг. кал. (2—5 V) и наконец в области солевых осадков земной поверхности с простыми и комплексными ионами определяется лишь 1—2 V; дальнейшие усложнения частиц с образованием двойных комплексных анионов отвечают изменениям в энергии решетки меньше чем 1 eV на 1 моль вещества. Как пример отметим, что энергия решетки U для MgO равна 935 кг. кал., а для NaCl только 180⁽¹¹⁾.

Совершенно понятно, что в последних условиях получается возможность необычайного разнообразия сочетаний и что усложнение молекулы и ее строения оказывается неизбежно связанным с ничтожным тепловым эффектом образования кристаллической решетки из свободных ионов; небольшое изменение в условиях энергетического баланса переводит соединение в новую равновесную систему; простые ионы, комплексные ионы, двойные комплексные ионы, гетерополисоединения и т. д. являются лишь отдельными этапами на этом пути, где кончаются процессы минералогии и геохимии и начинается подвижная часть—область биогеохимических реакций и искусственных неорганических комплексов; простые схемы преимущественно бинарных химических соединений сменяются здесь малоустойчивыми мутабильными равновесиями бертоллид и целой областью дисперсных коллоидальных микрокристаллических систем земной поверхности; этот ход эволюции вещества с точки зрения энергетики химических процессов строго закономерен; он отвечает общей линии увеличения энтропии.

* Благодаря обилию коллоидальных смесей и мутабильных соединений подсчет числа видов ориентировочен. С. С. Смирнов⁽⁹⁾ только для тяжелых металлов намечает 500 видов.

Таким образом количество минеральных видов в разных геохимических системах связано с термодинамическим характером этих систем и с уровнями их энергии. Поскольку сохранение подвижных систем воды и летучих соединений закономерно связано с историей данного космического тела, постольку и многообразие и усложнение в ходе сочетаний элементов есть следствие всего исторического процесса развития данного космического тела.

Как видно, особая сложность минеральных соединений вызывается образованием комплексных анионов.

Если бы взаимоотношения между катионами и анионами ограничились только существованием соединений простых ионов, то список минералов был бы очень невелик, и число минералов Земли немногим отличалось бы от числа минералов и соединений метеоритов. Только элементы воды и частично H_2S в магмах и растворах создают разнообразие минералов, образуя комплексные кислородные анионы в первую очередь.

Отсюда объяснение малого количества минеральных видов протокристаллизации по сравнению с конечной кристаллизацией, особенно характерное разнообразие и богатство видами щелочных пегматитов (где особенно много комплексных анионов и гетерополикислот), разнообразие видов конечных геофаз кристаллизации сульфидных магм, богатых $[SH]^{(11)}$, с их многочисленными и еще невыясненными комплексными сульфосолями, и т. д.

Поступило
17 III 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Н. Годлевский, Зап. Мин. о-ва, LXVI, 107—111 (1937). ² А. Г. Бетехтин, Зап. Мин. о-ва, LXVI, вып. 3 (1937). ³ О. М. Шубникова, Тр. Ломон. ин-та АН, X, 169—171 (1937). ⁴ О. М. Шубникова и Д. В. Юфиров, Справочник по новым минералам, 1—168 (1934). ⁵ А. Е. Ферсман, Общий обзор новых минералов (в книге О. М. Шубниковой), 1—10 (1934); P. Tschirvinsky, ZS. Krist., 64, 546—548 (1927); Riedenaue, ZS. Krist., 60, 42 (1924); А. Е. Ферсман, Геохимия, III, 12—15 (1937). ⁶ Н. Wartenberg, ZS. f. Elektroch., XXX, 351—356 (1924); O. Ruff, ibidem, 356—364. ⁷ А. Е. Ферсман, Геохимия, II, 165—226 (1934). ⁸ J. Noddack u. W. Noddack, Svensk kemisk Tidskrift, 46, 173 (1934); ZS. f. angew. Chem., 49, № 1 (1936). ⁹ С. С. Смирнов, Зона окисления сульфидных местор. (1936). ¹⁰ V. M. Goldschmidt, Fortschr. d. Mineral., XIX, 185 (1935). ¹¹ А. Е. Ферсман, Геохимия, III, 306 (1937).