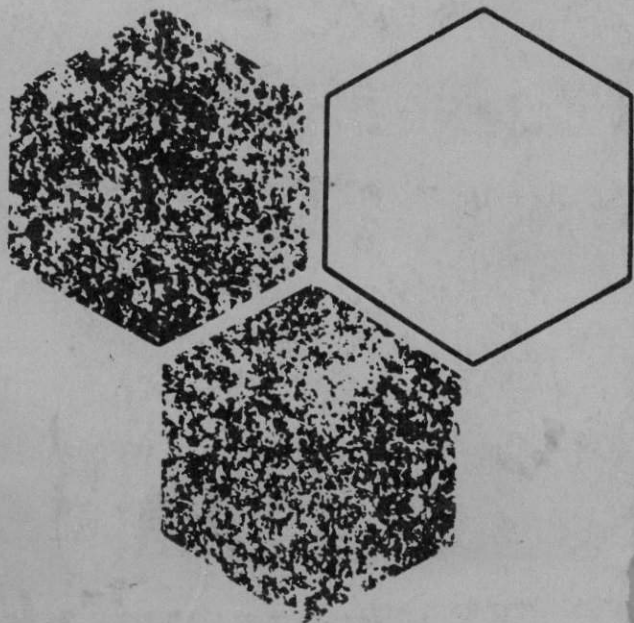


# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МИНЕРАЛОГИИ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
КОМИССИЯ ПО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ И НОМЕНКЛАТУРЕ  
ВСЕСОЮЗНОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

АКАДЕМИЯ НАУК УССР  
УКРАИНСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МИНЕРАЛОГИИ

СБОРНИК  
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1978



УДК 549

В сборнике рассмотрены предмет и задачи минералогии, объекты минералогии, понятия изоморфизма, типоморфизма, таксономические категории в минералогии и другие, связанные с основными понятиями современной минералогии.

Рассчитан на специалистов, работающих в области минералогии и полезных ископаемых, а также на студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специальностей.

Ответственный редактор Е.К.Лазаренко

Редакция информационной литературы

0 20805 - 244  
·M221(04)-78

© Издательство "Наукова думка", 1978

Е.К.Лазаренко

## ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ МИНЕРАЛОГИИ

За последние 350 лет своего существования минералогией накоплен большой фактический материал, требующий пересмотра и теоретического осмысления с позиций современной науки.

Прежде всего необходимо определить само понятие минералогии. Название первого известного в истории культуры сочинения по минералогии "О камнях", написанного более двух тысяч лет назад учеником Аристотеля Теофрастом (372-287 гг. до н.э.), в значительной степени определило предмет минералогии на многие последующие периоды ее истории.

Почти до конца XIX ст. минералогия является наукой о "камнях"\*. Это единственная в то время наука о всех телах, добываемых или находящихся в недрах земли, наука об ископаемых (лат. *fossilis*, нем. *Fossilien*).

Такое содержание минералогии нашло отражение и в ее названии, впервые введенном Бернардом Цезием в 1836 г., применившим слово "минералогия"† к науке об ископаемых.

Понятием ископаемые объединялись минералы (простые ископаемые тела), горные породы и руды (сложные ископаемые тела) и окаменелости. Такой подход полностью отражен в названии одного из первых руководств по минералогии на русском языке В.Севергина (1798) "Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел". Однако реформатор минералогии А.Г.Вернер в своем первом труде (1774) термин "ископаемые тела" применяет почти исключительно к минералам. Он возражает против термина "минералогия" как состоящего из лат. *minera* и греч. *λογος* и вводит новое название "ориктогнозия", состоящее из двух греческих слов *ορυκτος* (ориктос - ископаемое) и *γνωσις* (гносис - познание). Однако термин "минералогия" утвердился в науке, а ориктогнозия оказалась ее устарев-

\* В 1928 г. так ее определял В.И.Вернадский, а в 1975 г. Д.П.Григорьев писал, что "Задача" определения объектов минералогии заключается в том, чтобы выявить минералы как естественные каменные тела, принимая их во внимание такими, как они есть в действительности".

† От позднелат. *minera* - рудник, рудная жила, руда, ископаемое, и греч. *λογος* - учение.

шим синонимом. Этому содействовало также то, что в названии минералогия четко подчеркивалась связь с горным делом, которое дало начало ее развитию и в связи с которым связаны наиболее поступательные этапы в истории минералогии. В.И.Вернадский отмечал, что "горное дело и изыскание полезных ископаемых являются той областью, откуда искони, извека, минералог черпает главный материал для своей научной работы. Неотложной и важной задачей всего процесса знания является систематическое использование для научной работы опыта и труда рудокопов. К счастью, это является необходимым и для успешности самой техники".

Теснейшая связь минералогии с практической деятельностью человека, с исследованием и использованием минеральных богатств страны расширилась и углубилась в наше время. Практическое значение минералогии как науки, изучающей продукты земных недр, огромно, так как вся техника основана на их использовании. Из минерального сырья получают материалы, обладающие самыми различными свойствами (механическими, оптическими, антикоррозионными и др.). Вся черная и цветная металлургия, радиотехническая, электронная, атомная промышленность, производство минеральных удобрений базируются на сырье, извлекаемом из недр земли. Около 80% электроэнергии вырабатывается из угля, нефти, газа, почти 75% продукции химической промышленности получают из минерального сырья или продуктов его переработки.

В каком виде представлялась минералогия в начале XIX ст., можно видеть из устава Минералогического общества, учрежденного в 1817 г. в Петербурге. В нем говорилось: "Предмет, которым сие Общество предполагает заниматься, есть Минералогия во всем пространстве сего слова.

Земля наша, ее атмосфера, все неорганические (безрудные) произведения природы, в земле и на поверхности оной находящиеся, приведенные в систематический порядок сих тел, а потому и точнее испытание их свойств, многообразных отношений и действий одних на другие и взаимных соединений, действительное и даже возможное употребление средств к достижению сей последней цели, собрание и сообщение новых открытий иностранных земель и примечаний о минералогических сочинениях, суть существенные предметы созерцания и обрабатывания Общества".

Еще ранее, в "Докладе сената об учреждении Горного училища при Берг-коллегии" (1773 г.), в числе специальных предметов минералогия значится в таком понимании:

"Минералогия, чтоб по верным основаниям узнавать породы руд и их богатство, прочность и непрочность рудника по его положению, качество салбантов, и в каком он роде камня или земле лежит".

Практическое направление, заложенное в Горном институте, характерно для минералогии того времени вообще.

Основоположник русской минералогии М.В.Ломоносов ставил перед минералогией более широкие задачи. В предисловии к "Первым основаниям металлургии" (1743 г.) он писал:

"Краткое сие наставление о рудных делах ... издать в свет для того принял дерзновение, дабы верные... подданные вяще и вяще вникнули разумом и рачением в земные недра, к большому превращению государственной пользы".

В другом месте у него мы читаем:

"Военное дело, купечество, мореплавание и другие государственные нужные учреждения неотменно требуют металлов, которые почти все получаемы были из окрестных народов, так что и военное оружие иногда у самих неприятелей нужда заставляла перекупать через другие руки дорогих ценю".

Как видим, М.В. Ломоносов наметил государственную программу научной и практической работы в области минералогии.

Из приведенного краткого обзора видно, что долгое время минералогия оставалась единственной геологической дисциплиной, объединявшей учение о неорганической части природы.

Широким пониманием задач минералогии определялось то, что крупнейшие минералогии были и выдающимися геологами. Так, А.Г. Вернер, с именем которого связана дифференциация минералогии (как общей науки об ископаемых) и выделение из нее геологии, был создателем так называемой "естественно-исторической" школы в минералогии и основоположником нецтунистического направления в геологии.

Д.Д. Дена, одному из создателей современной минералогии, принадлежит разработка теории геосинклиналей и учения об образовании складчатости при сокращении земной коры в результате остывания и сжатия.

Реформатор современной минералогии В.И. Вернадский является основоположником геохимии, радиогеологии и биогеохимии.

Такое положение определялось не только тем, что минералогия понималась "во всем пространстве сего слова", но и особенностями самой минералогии как фундаментальной геологической науки.

Как уже отмечалось, дифференциация минералогии как общей науки об ископаемых связана с именем А.Г. Вернера, выделившим из нее в 1777 г. под названием геогнозия ( $\gamma\eta$  (Ге) - Земля) и  $\gamma\omega\sigma\iota\varsigma$  (гнозис - познание) геологию.

Затем из минералогии были выделены палеонтология и петрография. К первой половине XIX ст. минералогия полностью становится наукой о минералах и в значительной степени имеет статический\* описательный\*\*

\* В борьбе двух начал: статического К. Линнея (1707-1778), выраженного в системе природы, и динамического Л. де Бюффона (1707-1788), выраженного в естественной истории, большинство исследователей следовало К. Линнею.

\*\* В 1899 г. В.И. Вернадский писал: "Основываясь таким образом на опыте и наблюдении, минералогия до сих пор, как это было много веков тому назад, является по существу наукой описательной".

характер, который она сохраняет до работ В.И.Вернадского и Е.С.Федорова.

В.И.Вернадский дал современное определение минералогии и поставил перед ней новые задачи. Он установил, что задачи минералогии заключаются не только в изучении минералов как продуктов определенных процессов, но и в исследовании самих процессов, происходящих в земной коре и приводящих к образованию или изменению минералов. С этой точки зрения минералогия можно считать химией земной коры<sup>‡</sup>.

В.И.Вернадский возродил динамическое направление в минералогии, заложенное трудами М.В.Ломоносова, Л.де Бюффона, Э.Лакомана, Ф.Ц.Моисеенко, В.М.Севергина, С.И.Куртки, В.В.Докучаева и обосновал ее генетический принцип. Он писал: "Я положил в основу широкое изучение минералогических процессов земной коры, обращал основное внимание на процесс, а не только на исследование продукта процесса (минерала), на динамическое изучение процессов, а не только на статическое изучение их продуктов".

Минералогия В.И.Вернадский определяет как историю минералов, при этом отмечая, что он "в течение долгих лет, с 1880 по 1911 г., в Московском университете, в полном несогласии с преподаванием минералогии на Западе и в России, стоял не на точке зрения системы природы, а на точке зрения истории минералов Бюффона".

Е.С.Федоров, который в основном работал в области кристаллографии, применил в минералогии аналитический подход, основанный на точном анализе фактов минералогии. Он критически пересмотрел формы минерального мира и разработал теорию строения кристаллического вещества, увенчавшуюся выводом 230 пространственных групп симметрии, ставшими 230 геометрическими законами, по которым могут располагаться атомы внутри кристаллов минералов. После появления рентгеновского анализа кристаллов выяснилось, что эти законы лежат в основе структур минералов. Разработанный Е.С.Федоровым кристаллохимический анализ позволял по внешней форме кристаллов минералов определять их химический состав и схему внутреннего строения.

Генетический принцип стал основой современной минералогии.

После общего введения попытаемся дать современное определение минералогии.

Минералогия — наука о минералах, их составе, внутреннем строении, свойствах и условиях их образования и изменения, а также о процессах минералообразования.

Из приведенного определения видно, что минералогия является наукой исторической, пытающаяся восстановить по свойствам, составу, структуре

<sup>‡</sup> Минералогия как химию Земли еще ранее рассматривали А.Кронштедт (1702–1765) и Я.Берцелиус (1779–1848).

историю минерала и процессов, при которых он формировался и изменялся, т.е. минералогию иначе можно назвать также историей минералов.

В соответствии с задачами, стоящими перед современной минералогией и ее объектами исследования, в минералогии можно выделить три главных раздела: 1) минералогия земной коры; 2) минералогия мантии Земли и 3) космическая минералогия.

Минералогия земной коры подразделяется на минералогия горных пород, минералогия месторождений полезных ископаемых (например, минералогия эндогенных жил, пегматитов, зоны окисления, коры выветривания и пр.). В космической минералогии намечилось ее разделение на минералогия метеоритов и минералогия Луны.

Важным разделом минералогии является также минералогия заводских и лабораторных продуктов, по составу и свойствам отвечающих обычным продуктам природных процессов, отвечающим принятому выше понятию минерала.

В зависимости от подхода к изучению минералов в минералогии можно выделить разделы: 1) физическая минералогия, или физика минералов; 2) химическая минералогия, или химия минералов; 3) структурная минералогия; 4) кристалломорфология, или минералогическая кристаллография; 5) генетическая минералогия; 6) экспериментальная; 7) прикладная; 8) региональная и 9) систематическая минералогия.

Из отмеченных разделов мы кратко остановимся на экспериментальной, региональной и систематической минералогии.

Экспериментальная минералогия занимается получением в заводских и лабораторных условиях продуктов, отвечающих по своему составу и свойствам минералам, а также моделированием процессов минералообразования в различных физико-химических условиях. Моделирование дает возможность экспериментально проверить представления о магматогенных, метаморфогенных и экзогенных процессах.

Эксперимент является важнейшим критерием, позволяющим проверить наши теоретические представления относительно кристаллохимических особенностей минералов, их индивидуализированности и, следовательно, облегчает решение вопросов номенклатуры и классификации минералов.

Региональная минералогия изучает распределение минералов и минеральных ассоциаций в пределах отдельных геологических территорий. Региональные минералогические исследования дают ключ к расшифровке геологической истории и тех физических и химических изменений минералов и минеральных ассоциаций, по которым в основном эта история восстанавливается. Они служат одной из главных предпосылок для прогнозов и поисков минеральных месторождений.

В результате регионально-минералогических исследований были открыты россыпные месторождения титана на Украине, а затем карбонатитов и кимберлитовых пород.



В.И.Вернадский придавал исключительное значение региональной минералогии, определяя ее как "основной субстрат минералогии, ее жизненную почву".

Целью систематической минералогии является систематизация всех сведений, полученных при описании отдельных минеральных видов и минеральных индивидов, выполненных всеми указанными выше разделами минералогии. В систематической минералогии все свойства минералов, их конституция и условия образования рассматриваются как взаимосвязанные факторы, определяющие самостоятельность минерального вида как результат систематизации всех характеристик минеральных видов, дается их классификация.

Таким образом, систематическая минералогия, детально описывая минеральные виды, классифицирует их и определяет положение каждого из них в общей систематике минерального мира. Наряду с этим систематическая минералогия использует данные генетической и региональной минералогии, касающиеся нахождения, распространения и образования конкретных минералов в отдельных участках земной коры.

Для проверки правильности представлений, рассматриваемых в систематической минералогии, используются результаты экспериментальной минералогии, и, как вывод из систематизации, следует заключение о практическом и научном значении каждого минерала.

Из всего сказанного следует, что все разделы минералогии органически связаны между собой и составляют единое целое.

Определяя задачи минералогии, следует особо подчеркнуть важность разработки новых методик исследования, ибо только они могут обеспечить надлежащее качество минералогических исследований и этим влиять на эффективность поисковых и геологоразведочных работ.

## А.С.Поваренных

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СОВРЕМЕННОЙ МИНЕРАЛОГИИ

В минералогии, как и во многих других естественных науках, на протяжении долгого пути развития происходили существенные изменения в области понимания и соответственно определения основных (фундаментальных) ее понятий.

Это следствие правильного понимания передовыми учеными объективно происходящих в ходе ее развития изменений в представлениях о природе и свойствах минералов, закрепленных на отдельных этапах в соответствующих определениях.

Основой саморазвития всякой науки является ее дифференциация на ряд близких, но различных научных направлений (впоследствии самостоятельных наук). Дифференциация науки происходит вследствие углубления позна-

ния природы ее объектов (в частности, минералов) с помощью все более точных методов их исследования.

В собственно научный период своей истории минералогия прошла три главных этапа развития со все более глубоким пониманием природы и свойств минералов, которые по своему основному содержанию можно назвать физическим, химическим и кристаллохимическим этапами. Каждый из них сопровождался дифференциацией минералогии, отпочкованием от нее ряда смежных наук и изменением в определениях основных ее понятий: минерала, минерального вида, минеральной разновидности и других.

В настоящее время (кристаллохимический этап минералогии), когда достаточно познана природа (конституция) минерала как единство состава и строения, когда установлены законы взаимосвязи и изменения обоих и соответственно всех свойств минералов, необходимо дать новые, полные определения всех фундаментальных понятий минералогии, относящихся как к объектам ее изучения, так и к понятиям, отражающим изменение их состава, строения и свойств.

Все эти определения должны быть сформулированы на основе исторической тенденции минералогии — неуклонно осуществляющейся ее дифференциации, строгого соблюдения логических правил определения понятий и учета последних достижений в области экспериментальных исследований и теоретических обобщений этой науки.

Правильные определения основных понятий минералогии имеют большое теоретическое и практическое значение, так как указывают на свойства и относительные границы ее объектов по отношению к другим частям сложной построенной земной коры, что вытекает из природы минерала и законов ее развития, намечающих выбор методов его исследования.

Для обсуждения приводятся определения основных понятий современной минералогии.

Минералогия — наука о природных кристаллических индивидах, их конституции и свойствах, возникновении, развитии и изменении, наиболее полно отражаемых в учении о минеральном виде.

Минерал — это кристаллическая составная часть горных пород, руд и других агрегатов неорганического мира, образовавшаяся в результате физико-химических процессов, протекающих в земной коре и в прилегающих к ней оболочках.

Попытки расширить понятие минерала включением в него дополнительных объектов (космогенные тела, органические вещества, вулканические стекла, синтетические продукты и др.) следует считать ошибочными, так как при этом все основные признаки понятия минерала игнорируются и определение становится абстрактным: минерал — это любое твердое тело.

Минералы выступают в природе в виде индивидов — кристаллов или зерен — различной формы и размеров; они ассоциируются в моно- или поли-минеральные агрегаты. Абстрагируясь от частных и выделяя только

главные признаки минеральных индивидов, приходим к понятию минерального вида.

К одному минеральному виду относятся все минеральные индивиды, обладающие одинаковой природой. Раскрывая понятие природы или конституции минерала как взаимосвязанных состава и структуры последнего со своими границами для каждого минерального вида, можно дать более полное определение понятия минерального вида: к одному минеральному виду относятся все минеральные индивиды, обладающие одинаковой структурной группой и химическим составом, лежащим в пределах ряда непрерывного изменения.

Различают совершенно и несовершенно изоморфные минеральные виды. При совершенном изоморфизме элементов это определение требует слияния некоторых старых (выделенных в прошлом столетии) минеральных видов в один вид и, следовательно, упразднения ряда собственных названий, относящихся к прежним видам.

Исследование точечных диаграмм состава минералов показывает, что между минеральными видами и индивидами необходимо ввести следующие промежуточные понятия: подвид, разновидность и разность. Два последних могут выделяться по химической и структурной линиям.

Минеральный подвид — это совокупность минеральных индивидов совершенно изоморфного вида, в составе которой преобладает один из главных видообразующих элементов, например: натроплагиоклаз и кальциоплагиоклаз, ферровольфрамит и мангановольфрамит и т.п.

Химическая минеральная разновидность — это совокупность минеральных индивидов как совершенно, так и несовершенно изоморфного вида, в состав которой входит, кроме главного минералообразующего элемента, существенное количество (5–10%) другого изоморфного элемента (или отвечает соответствующей области состава совершенно изоморфного вида).

Химическая минеральная разность — это совокупность минеральных индивидов как совершенно, так и несовершенно изоморфного вида, в состав которой входит, помимо главного минералообразующего элемента, незначительное содержание (1–2%) другого изоморфного элемента (или отвечает номеру (1%) в ряду совершенно изоморфного вида).

Для структурных разновидностей и разностей предлагаются следующие определения:

Структурная минеральная разновидность — это совокупность минеральных индивидов данного вида, существенно отличающаяся по структуре от остальных индивидов в результате иного порядка чередования (периода повторяемости) слоев атомов или атомных поллюэдров.

К ним относятся так называемые политипные модификации, известные для графита, молибденита, вюрцита, слюд, хлоритов и др.

Структурная минеральная разность — это совокупность минеральных индивидов данного вида, незначительно отличающаяся по структуре от остальных индивидов в результате противоположного винтового расположения атомов или наличием различного рода локальных дефектов.

Это правые и левые формы кварца, киновари, теллура, селена, эпсомита и других, минеральные индивиды с точечными, линейными структурными дефектами, обуславливающими их специфические (спектроскопические) свойства.

Ниже приводятся определения главных понятий, относящихся к области изменения состава и структуры минералов и написания кристаллохимических формул.

Изоморфизм — явление взаимного замещения атомов в структуре минерала, обладающих близкими кристаллохимическими свойствами, обуславливающее закономерное и постепенное изменение химического состава минерала и электронейтральность его кристаллической решетки.

Изоморфизм бывает изо- и гетеровалентным, совершенным и несовершенным; лежит в основе закономерного изменения состава минеральных видов.

Полиморфизм — явление скачкообразного перехода от одного структурного типа минерала к другому при изменении физико-химических факторов среды минералообразования; он лежит в основе превращения одного минерального вида в другой при постоянстве их химического состава.

Формула минерала — это условное графическое изображение с помощью букв, цифр, скобок и других специальных знаков основных особенностей конституции минералов, при котором соблюдается строгий порядок следования элементов и радикалов. Необходимо различать формулы минерального вида, подвида, разновидности и разности.

Приведенные выше определения основных понятий современной минералогии требуют для своего полного утверждения серьезных номенклатурных изменений в области общепринятой старой минералогии и введения новых обозначений и условных знаков для отображения в названиях и формулах существенных особенностей конституции минералов, выявленных современными исследованиями.

Г.Б.Бокий

#### К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ МИНЕРАЛОГИИ

Все понятия, <sup>(1)</sup>относящиеся к одной области знаний, всегда связаны друг с другом, поэтому их можно определить только последовательно. Иначе невозможно избежать "круга", т.е. давать новые определения понятий через понятия, которые еще не определены и будут определяться в дальнейшем через это определяемое понятие.

Поэтому необходимо вначале ограничиваться минимальным количеством основных понятий. С нашей точки зрения следует ограничить вопрос следующими тремя понятиями: минеральный вид, разновидность и род, т.е. совокупность минеральных видов.

Анализ минералогической литературы показывает, что предлагавшиеся ранее определения минерального вида и разновидности содержат по крайней

мере пять логических ошибок и три ошибки от недоучета некоторых особенностей минерального мира.

Наличие в определении даже одной из этих ошибок и неточностей автоматически исключает возможность правильного решения вопроса.

Ошибки (точнее, разные мнения), которые существуют в литературе из-за отсутствия соответствующего соглашения следует дискутировать. Указанные первые восемь ошибок необходимо исключить. Приведем логические ошибки, встречающиеся в литературе:

1. Поскольку всякий "вид" — это совокупность индивидов, понятие "минеральный вид" может относиться только к кристаллическим фазам, ибо только кристаллы могут образовывать индивиды. Минеральные жидкости и газы должны рассматриваться в других (сравнительно небольших) множествах.

2. Непрерывные твердые растворы компонентов — равнозначащие понятия, ограниченные твердые растворы — перекрещивающиеся. Для простоты рассмотрим двойные системы. Перекрещивающиеся и равнозначащие понятия представляют собой отношения между двумя понятиями (минеральными видами). Объединение понятий (видов) всегда образует понятие надвидовое, т.е. родовое. Невозможно создать систематику, в которой на одном уровне были бы виды и некоторые роды.

3. Предложение в непрерывных твердых растворах срединную часть считать видом, а компоненты — его разновидностью психологически возникает как результат стремления уменьшить число видов. Однако оно не выдерживает проверки на экстраполяцию.

Если в двойных системах это приводит к кажущемуся уменьшению видов, то в тройных число срединных частей равно числу вершин (компонентов). В этом случае возникает вопрос, почему же за минеральные виды надо принимать неопределенные составы, близкие к 50%-ным смесям, а не компоненты системы?

В четверных системах это приводит к абсурду, так как в тетраэдре четыре вершины и шесть сторон.

4. Четвертая логическая ошибка возникает в результате стремления авторов выработать такое определение минерального вида, которое удовлетворяло бы все объекты, описанные в литературе. Такое определение найти невозможно, да и не нужно. Его необходимо выработать на основе наиболее строгих существенных признаков и с его помощью проверять реальные объекты для однозначного решения вопроса, входит ли проверяемый объект в данное множество или нет.

5. Пятая логическая ошибка состоит в том, что авторы пытаются обойтись без строгих определений.

В некоторых курсах и справочниках по минералогии понятие минерального вида не дается (Бетехтин, 1950). В результате один и тот же признак в одном случае учитывается, в другом — отбрасывается. Такое отношение к

исходным понятиям порождает большую путаницу в терминологии. Во всем издании один и тот же термин начинает фигурировать в разных смыслах. Рядом с правильными терминами уживаются неправильные. Читатель лишается возможности сам разобраться в том, что верно, а что неверно. В результате подрывается вера в правильные понятия и ценность издания в значительной мере утрачивается.

Следующие три ошибки связаны с игнорированием фактов, относящихся к особенностям минерального мира.

1. Для минерального мира характерны непрерывные переходы между видами, родами и более высокими таксонами. Эта особенность обязательно должна учитываться в классификационных схемах (на рис. 2 в работе Г.Б. Бокля (1974) это показано горизонтальными стрелками). От любого места такой стрелки на уровне видов могут образовываться разновидности и индивиды.

2. В минералогической литературе термин разновидность употребляется в двух смыслах, причем в одном случае разновидность в классификационной схеме располагается на одном уровне с видами, в другом — подвидами. Как указывалось выше, нами предложено различать их и называть соответственно меж- и внутривидовой разновидностями. Для первых можно использовать еще и цифровую характеристику, определяющую число компонентов в системе. Например, реперит — межвидовая разновидность — 3.

3. Термин "минерал" в литературе используется в нескольких смыслах, он многозначен. Ошибка заключается и в том, что предполагается синонимичность понятий "минерал" и "минеральный вид". Из-за многозначности понятия "минерал" нельзя построить систематику минералов. Можно построить только систематику минеральных видов.

Большое разночтение и путаница в терминологии объясняется еще и тем, что случаи, которые решить логически нельзя и которые требуют международного условия (соглашения), не решаются десятилетиями. Их три:

1. О проведении условной границы между видами в непрерывных твердых растворах.

2. О проведении условной границы между видами и разновидностями.

3. Условие о том, какими и скольким количеством примесей можно пренебречь, чтобы причислить объект принадлежащим к данному виду или к данной разновидности.

Нельзя мириться с наличием отдельных ошибок в рассуждениях, ибо последние всегда представляют собой цепь логических построений, которая в любой момент может легко порваться. Наличие хотя бы одной логической ошибки не позволит получить правильное решение. Например, в длинной цепи расчетов, вы в одном месте посчитали, что  $2 \times 2 = 5$ . Эта ошибка ликвидирует всю работу. Вы уже никогда не получите правильного результата.

В любой большой работе, особенно сводной, всегда бывают отдельные ошибки, которые попадают по невнимательности, по недостаточно критиче-

скому отношению к первичным данным и т.п. Их необходимо устранять. Эти отдельные ошибки, включая и просто опечатки портят работу, но они не аннигилируют целых частей работы. Любая логическая ошибка обязательно влечет за собой целую серию неправильных утверждений и может вызвать неправильное изложение целых разделов, т.е. привести к большому объему бракованной информации.

В 1974 г. автором предложено следующее определение минерального вида, лишенное указанных выше восьми недостатков.

"Минеральным видом называется простое вещество или химическое соединение, выкристаллизовавшееся в результате гео- или космохимического процесса из природной физико-химической системы. Состав минерального вида соответствует компоненту системы или участку фазы переменного состава, в котором один из компонентов резко преобладает, или же сложному промежуточному химическому соединению этой системы близкого к постоянному составу" (Вокий, 1974).

Такие промежуточные химические соединения (двойные в двойных системах, тройные - в тройных и т.д.) обладают свойством делить систему на подсистемы, в которых эти соединения могут быть выбраны за компоненты.

Пример деления двойной системы на две подсистемы дан на рис. I (в работе Г.Б.Бокия (1974)). Это определение удовлетворяет требованиям, которые обсуждались выше. В нем, однако, в двух местах используются неточные характеристики: "... резко преобладает..." и "... близкого к постоянному..." Как говорилось выше, проблема определений понятий включает в себя как логическую, так и условную стороны. При условии договоренности (лучше международной) о проведении условных границ в перекрещивающихся и равнозначных понятиях, можно было бы принятые величины подставить в приведенное выше определение и сделать его совершенно строгим.

А.К.Болдырев в 1935 г. предложил для непрерывных твердых растворов двойных систем принимать в качестве таких пределов содержание второго компонента, равное 25%. Это предложение чрезвычайно удачно. Если его принять, то приведенное выше определение "резко преобладает" будет заменено (для двойных систем) "составляет более 75%", а вместо "близкого к постоянному" будет "имеющего содержание второго компонента, не превышающего 25%".

За пределы междувидовой разновидности в двухкомпонентной системе аналогично тому, как предлагалось А.К.Болдыревым (1935), можно принять 75 и 25%, т.е. при условии, что отношение компонентов будет менее чем 3:1. Для трехкомпонентной системы эти отношения будут соответственно 60 и 20, для четырех - 50 и 16,6 и т.д. Эти числа легко получить по предложенной нами формуле:  $\frac{100}{n+2}\%$  для нижнего предела и  $\frac{(n+1)100}{n+2}\%$  для верхнего. Эта формула - простое обобщение многокомпонентных систем в рекомендации А.К.Болдырева (Бокий, 1974).

Если при близком химическом составе и сходстве многих других свойств по некоторым физическим свойствам индивидуумы резко отличаются друг от друга — например по цвету (что особенно характерно для драгоценных камней), прозрачности, формам кристаллов, не свойственным данному веществу (псевдоморфозы), — следует пользоваться термином "внутривидовая разновидность".

Особенностью минерального мира являются непрерывные переходы между объектами классификации, находящимися на одном уровне (рис.2, стрелки, в работе Г.Б.Бокия (1974)), что обычно не наблюдается в животном и растительном мире, на уровне рода и в более высоких разделах классификации. Именно это свойство минералов явилось причиной большинства недоразумений и ошибок в предлагавшихся проектах их классификаций. Эта особенность минерального мира обязательно должна учитываться при разработке нового проекта хотя бы в той форме, как это показано в работе Г.Б.Бокия (1974) на рис.2.

Из сказанного следует, что два типа разновидностей существенно отличаются друг от друга: межвидовые разновидности находятся в иерархической классификации на уровне видов.

Внутривидовые разновидности в той же схеме располагаются ниже вида (рис.2 в работе Г.Б.Бокия (1974)). Если авторы не различают двух типов разновидностей, то под термином "разновидность" они интуитивно правильно подразумевают именно "внутривидовые разновидности". К сожалению, этот принцип нигде не выдержан.

Наше определение принято руководством международного проекта Интегральной информационной системы по химии (Бокий и др., 1972) и на его основе составлен тезаурус по минералам. К настоящему времени издано два тома (Бокий и др., 1976; 1977).

Под понятием рода, в который объединяются минеральные виды, мы условились понимать структурный тип (Бокий, 1964), который хоть приблизительно коррелирует с неточно определенным в минералогии понятием "группа". Вопрос о более высоких таксонах в минералогии строго не обсуждался, но иногда подразумевался под тем же термином "группа". Объединять роды надо в следующий таксон. По аналогии с биологической классификацией будем называть его "семейством". Следовательно, это будут семейства структурных типов. Некоторые из них нетрудно наметить. Прежде всего это будет объединением политипных минералов. Рационально считать семейством все политипные минералы состава  $ZnS$ . Такие же семейства политипных минералов хорошо выделяются среди некоторых слоистых силикатов, например слюд и т.д.

Рационально объединять в семейства полевые шпаты, пироксены, амфиболы и т.п. Такие объединения частично проводятся в некоторых курсах по минералогии, при этом, как сказано выше, они тоже называются "группами".



Чтобы подчеркнуть, что здесь речь идет о более высоких таксонах, чем род, можно рекомендовать использование множественного числа.

Однако в общем виде вопрос о семействах минералов пока не решен, хотя пути его решения в основном ясны.

Один и тот же структурный тип может встречаться в разных классах минералов, например *NaCl* - в классе хлоридов и *PbS* - в классе сульфидов.

Соответственно в каждом из них он будет фигурировать в качестве самостоятельного рода.

В докладе Е.К.Лазаренко, А.С.Поваренных на заседании Комиссии минералогической номенклатуры и терминологии ВМО "Объекты минералогии" определения не полны, в них не устранены ошибки, о которых говорилось выше. Кроме того, работа сразу над десятью понятиями (мы предлагаем работать над 3-4), когда ни для одного из них не выработано правильных определений методически неверно.

Рекомендации по условным границам недостаточно четки и даются не для всех случаев, когда принятие подобного условия необходимо.

Е.К.Лазаренко

#### ТАКСОНОМИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ МИНЕРАЛОГИИ

Важнейшей задачей минералогии как естественно-исторической науки является расположение явлений в определенной упорядоченной системе. Это сводится к именованию, описанию и классификации явлений<sup>ж</sup>, что является предметом систематики или таксономики<sup>жж</sup>. Предмет таксономии и теоретическое обоснование классификационных категорий - таксонов, их системы, соподчинения, соотношения и их объема.

Термин систематика<sup>жжж</sup> применялся к системам классификации, разработанным естествоиспытателями прошлого. Среди них наибольшей известностью пользуется "Система природы" К.Линнея (1735), "Система минералогия" И.Валериуса (1747), Я.Берцелиуса (1816), К.Мооса (1820) и Д.Дана (1837).

В иностранной литературе термины систематика и таксономия используются на равных правах. В русской литературе они употребляются как синонимы, причем термин "таксономия" вообще применяется очень редко.

<sup>ж</sup> На это обращал внимание Ф.Энгельс, писавший, что надо сначала знать, что такое данная вещь, чтобы можно было заняться теми изменениями, которые в ней происходят.

<sup>жж</sup> От греч. *taxis* (таксис) - расположение в порядке и *nomos* (номос) - закон.

<sup>жжж</sup> От латинизированного греч. слова *systema*.

Известное представление о разнообразии живой и неживой природы и о масштабах задач, стоящих перед систематикой, можно составить на основании данных, приведенных в табл. I.

Т а б л и ц а I

Количественные соотношения видов живой и неживой природы

Мир	Известно	Ежегодно описывается
Растений	> 300 000 видов (в 60 раз больше, чем во времена Линнея)	4750 новых видов (с 1753 по 1942 г. предло- жено > 1 млн. названий)
Животных	> 2 000 000 видов	10 000 новых форм (для одних насекомых ис- пользовано 1,5 млн. назва- ний)
Минералов	~ 2000 минеральных видов и под- видов > 14000 названий	50-60 минеральных видов (большое количество назва- ний). С 1966 по 1976 г. предло- жено 1300 названий, из них 631 достоверное

2695  
О грандиозности задач, стоящих перед систематикой и номенклатурой можно судить из того, что 14 тысяч названий минералов необходимо распределить в рамках более высоких категорий, выражая при этом их естественные взаимоотношения и анализируя структуру парагенетических ассоциаций каждого вида в региональном плане.

Номенклатура\* - это система названий, роль которой сводится к обозначению систематических единиц или категорий для облегчения общения между специалистами. Минералогическая номенклатура - язык минералогов. Язык может быть хорошим средством общения лишь при условии его широкого распространения и одинаковом смысловом значении одних и тех же слов.

Рене Декарт предупреждал: определяйте значение слов и этим вы избавите человечество от половины его заблуждений.

Главная роль всякой номенклатуры состоит в универсальности и стабильности. Ее основной задачей является разработка Кодекса международных правил рационального наименования видов и других систематических категорий, решение спорных вопросов, выяснение оснований для изменения названий, создание универсальной системы научных названий минералов\*\*.

\* От латин. *nomen* - имя и *locare* - называть (в буквальном переводе "название по имени").

\*\* Такие Кодексы существуют для ботанической и зоологической номенклатур.



Создание системы заключается в распределении категорий в порядке иерархии. Она приведена в табл.2 для минералов в сравнении с животным миром и системой Линнея. Каждая категория состоит из одной (или нескольких) следующей за ней более низкой ступени, представляющей собой следующую, низшую категорию, т.е. каждый минерал рассматривается как принадлежащий к ряду таксонов последовательно соподчиненных рангов, среди которых основным является ранг вида.

Т а б л и ц а 2  
Иерархия таксономических категорий

По Линнею	Принятая в зоологии для животных	Принятая в ботанике для растений	Предлагаемая для минералов
Царство	Царство Тип Подтип Подкласс	Царство Отдел Подотдел	Мир (царство) Тип
Класс	Класс Подкласс Когорта Надотряд	Класс Подкласс	Класс Подкласс
Отряд	Отряд Подотряд	Порядок Подпорядок	Отряд  Отдел Подотдел
	Надсемейство Семейство Подсемейство Триба	Семейство Подсемейство Колено Подколено	Семейство  Ряд
Род	Род Подрод	Род Подрод Секция Подсекция Ряд Подряд	Группа Подгруппа
Вид Разновидность	Вид Подвид	Вид Подвид Разновидность	Вид (подвид (минал), разновидность, разность)

Названия категорий свидетельствуют о существовании ряда сходных или близких видов.

В результате все минералы можно расположить в систематическую иерархию, состоящую из ряда категорий, ранг которых постепенно повышается от вида (подвида, разновидности и разности) к миру, причем каждая последующая категория включает в себе одну или несколь-

ко предыдущих более низких категорий<sup>\*</sup>, так называемых таксонов.

Все эти категории (таксоны) объективны, так как поддаются объективному определению.

Субъективность отдельных категорий и их границ – неизбежное зло в развитии системы, но не свойство отдельных систематических категорий.

Функция таксономических категорий состоит в том, чтобы свести существующее в природе многообразие в связную систему. Гораздо легче понять и запомнить особенности категорий, чем бесчисленных единиц, из которых они состоят.

Минералы, относящиеся к одной и той же "естественной" таксономической категории, сходны друг с другом по многим признакам потому, что они характеризуются определенной структурой и составом и являются продуктами определенных процессов (условий образования).

Основная категория (таксономическая единица) минералогии – минеральный вид, понятие которого введено в минералогии в 1735 г. К.Линнеем. Оно использовалось Р.Д.Такк (1801), Я.Берцелиусом (1826), Д.И.Сokolовым (1832), а затем наиболее полно сформулировано М.Медведевым (1863), А.Лаппараном (1884) и Г.Чермаком (1884).

Долгое время это понятие было забыто. В 1908 г. В.И.Вернадский писал, что с признанием химического состава как господствующего классификационного признака "исчезли из области минералогии многие вопросы, которые долгие годы составляли ее содержание, как, например, вопросы о минеральном виде". Интерес к минеральному виду возродил А.К.Болдырев (1926), а в наше время В.С.Соболев (1947), А.С.Поваренных (1954) и Д.П.Григорьев (1961).

Эволюция взглядов на понятие минерального вида приведена в работе А.С.Поваренных (1963), и мы на ней останавливаться не будем, а воспользовавшись приведенным ранее определением понятия минерального вида, рассмотрим его с точки зрения таксономической иерархии<sup>\*\*\*</sup>. Минеральный вид, являясь фундаментальным понятием минералогии, – это низшая таксономическая единица, которой можно дать такое определение.

<sup>(\*)</sup> Минеральный вид – систематическая категория, состоящая из минеральных индивидов, у которых состав и структура одинаковы или изменяются непрерывно.

---

<sup>\*</sup> Эта иерархия позволяет довольно точно выразить относительное положение двух минералов в минералогической системе.

<sup>\*\*\*</sup> Однако общепризнанного определения понятия минерального вида в минералогии нет. Этот вопрос является сложным и в зоологии, где известна такая формулировка этого понятия: "вид – это то, что компетентные специалисты по данной группе считают видом ...".

Минеральные индивиды, состав и структура которых изменяются непрерывно, в минералогии получили название минеральных видов переменного состава или совершенно изоморфных, а также серий. Видовое название в минералогии, как и в зоологии и ботанике, означает самостоятельность и отличность.

Важной задачей таксономии является установление принципиальной разницы между видами и внутривидовыми категориями. Соотношение между ними показано на рис.1 в работе А.С.Поваренных (1969). Подвид выделяется только среди минеральных видов переменного состава\*. Ему для гипотетических членов отвечает минал\*\*.

Этим понятиям можно дать следующее определение.

Подвид – внутривидовая систематическая категория минерального вида переменного состава, в которую выделяются крайние члены непрерывного изоморфного ряда. Иначе говоря, подвид – внутривидовая систематическая категория, представляющая собой совокупность минеральных индивидов минерального вида переменного состава с преобладанием в нем одного из главных видообразующих элементов.

Минал – внутривидовая систематическая категория минеральных видов переменного состава, отвечающая гипотетическим крайним членам непрерывного изоморфного ряда.

Количество подвидов (и соответственно миналов) определяется реальным разрывом (пределом) непрерывности изменения состава минералов. А.С.Поваренных выражает их в виде трех основных типов диаграмм, распадающихся на двухкомпонентные системы с двумя, тремя и четырьмя подвидами.

Из других внутривидовых категорий рассмотрим разновидность и разность.

Разновидность – внутривидовая систематическая категория, состоящая из минеральных индивидов данного вида, отличающихся от других индивидов химическими или структурными особенностями.

В соответствии с приведенным определением среди минеральных разновидностей можно выделить химическую и структурную.

Химическая минеральная разновидность – совокупность минеральных индивидов как минерального вида постоянного состава, так и минерального вида переменного состава, которая характеризуется наличием в своем составе, кроме главного минералообразующего элемента, большого количества (10–15%) другого изоморфного элемента.

Структурная минеральная разновидность – совокупность минеральных индивидов данного минерального вида, отличающаяся по структуре от остальных.

\* Ч.Дарвин считал, что в биологии между видом и подвидом нет принципиальной разницы. Возможно, что это относится и к минералам.

\*\* Термин введен Н.Л.Аллинг в 1936 г. от сокращенного названия минерал.

ных индивидов в результате иного порядка чередования слоев атомов или атомных полиэдров.

Минеральная разность – внутривидовая систематическая категория, состоящая из минеральных индивидов данного минерального вида, которая характеризуется наличием в своем составе, кроме главного минералообразующего элемента, определенных, но небольших (1-2%) количеств другого изоморфного элемента, или отличается по физическим свойствам, а также по структурным деталям.

Соотношение между минеральным видом и межвидовыми категориями, по В.К.Лазаренко и А.С.Поваренных, приведено в табл.3.

Таблица 3  
Связь минеральных видов и внутривидовых категорий

Вид	Подвид	Разновидность	Разность
А. Химическая линия			
Вольфрамит (Fe, Mn)(WO <sub>4</sub> )	Ферберит (ферро-вольфрамит) – Fe(WO <sub>4</sub> )	Вольфрамит сканди-евый (Fe, Mn, Sc)(WO <sub>4</sub> )	
Сфалерит ZnS	Гюбнерит (мангано-вольфрамит) – Mn(WO <sub>4</sub> )	Сфалерит железистый (Zn, Fe)S	
Б. Структурная линия			
Вюрцит	–	Вюрцит – 2H, – 4H, – 3R, Мусковит – 2M, – 1M <sub>1</sub> .	
Мусковит	–		
Кварц	–	–	Кварц левый Кварц правый
В. Морфологическая линия			
Малахит	–	–	Малахит земли-стый
Мусковит	–	–	Мусковит волок-нистый
Сфалерит	–	–	Сфалерит скрыто-кристаллический
Г. Линия физических свойств			
Кварц	–	–	Кварц голубой
Кордьерит	–	–	Кордьерит поло-жительный

В систематике минералов важен вопрос о том, как строить названия минерального вида и внутривидовых категорий<sup>ж</sup>.

Право на собственное название имеет только вид и подвид, разновидности и разности именуется по минеральному виду с приставкой прилагательного, указывающего на признаки, по которым эта минеральная разновидность или разность выделяется, т.е. мы здесь имеем дело с бинарной номенклатурой, несколько напоминающей зоологическую и ботаническую<sup>жж</sup>. Построение названий структурных минеральных разновидностей, а также разностей, выделяемых по химическим, структурным и морфологическим признакам и по физическим свойствам показано в табл.3. Для минеральных разновидностей, выделяемых по химическим признакам принимается следующая номенклатура:

<i>Ag</i>	Серебряный	<i>F</i>	Фтористый
<i>Al</i>	Алюминиевый	<i>Fe<sup>2+</sup></i>	Железистый
<i>As<sup>3+</sup></i>	Мышьяковистый	<i>Fe<sup>3+</sup></i>	Железный
<i>As<sup>5+</sup></i>	Мышьяковый	<i>Ga</i>	Галиевый
<i>Au</i>	Золотой	<i>Gd</i>	Гадолиниевый
<i>B</i>	Бористый	<i>Ge</i>	Германиевый
<i>Ba</i>	Бариевый	<i>H</i>	Водородистый
<i>Be</i>	Бериллиевый	<i>Hf</i>	Гафниеый
<i>Bi</i>	Висмутовый	<i>Hg<sup>+</sup></i>	Ртутистый
<i>Br</i>	Бромистый	<i>Hg<sup>2+</sup></i>	Ртутный
<i>C</i>	Углеродистый	<i>Ho</i>	Гольмиевый
<i>Ca</i>	Кальциевый	<i>In</i>	Индиевый
<i>Cd</i>	Кадмиевый	<i>Ir</i>	Иридиевый
<i>Ce</i>	Цериевый	<i>I</i>	Иодистый
<i>Cl</i>	Хлористый	<i>K</i>	Калиевый
<i>Co<sup>2+</sup></i>	Кобальтистый	<i>Kr</i>	Криптоновый
<i>Co<sup>3+</sup></i>	Кобальтовый	<i>La</i>	Лантановый
<i>Cr</i>	Хромистый	<i>Li</i>	Литиевый
<i>Cs</i>	Цезиевый	<i>Lv</i>	Лютециевый
<i>Cu<sup>+</sup></i>	Медистый	<i>Mg</i>	Магниеый
<i>Cu<sup>2+</sup></i>	Медный	<i>Mn<sup>2+</sup></i>	Марганцевистый
<i>Dy</i>	Диспрозиевый	<i>Mn<sup>3+</sup></i>	Марганцевый
<i>Er</i>	Эрбиеый	<i>Mo</i>	Молибденовый
<i>Fu</i>	Европейский	<i>N</i>	Азотистый

<sup>ж</sup> Образно по этому поводу говорил К. Линней, что если не знаешь названия, то геряешь и познание.

<sup>жж</sup> В зоологии и ботанике по бинарной номенклатуре первое название родовое, а второе - видовое (например, клен обычный - *Acer platanoides*, собака домашняя - *canis familiaris* и т.д.).

<i>Na</i>	Натриевый	<i>Ta</i>	Танталовый
<i>Nb</i>	Нйобиевый	<i>Tb</i>	Тербиевый
<i>Nd</i>	Неодимовый	<i>Te</i>	Теллуровый
<i>Ne</i>	Неоновый	<i>Th</i>	Ториевый
<i>Ni<sup>2+</sup></i>	Никелистый	<i>Ti<sup>3+</sup></i>	Титанистый
<i>Ni<sup>3+</sup></i>	Никелевый	<i>Ti<sup>4+</sup></i>	Титановый
<i>O</i>	Кислородистый	<i>Tl</i>	Таллиевый
<i>Os</i>	Осмиевый	<i>Tm</i>	Туллиевый
<i>P</i>	Фосфористый	<i>U<sup>3+</sup></i>	Уранистый
<i>Pb<sup>2+</sup></i>	Свинцовистый	<i>U<sup>6+</sup></i>	Урановый
<i>Pb<sup>4+</sup></i>	Свинцовый	<i>V<sup>2+</sup>, V<sup>4+</sup></i>	Ванадистый
<i>Pd</i>	Палладиевый	<i>V<sup>3+</sup>, V<sup>5+</sup></i>	Ванадиевый
<i>Pr</i>	Празеодимовый	<i>W</i>	Вольфрамовый
<i>Pt</i>	Платиновый	<i>Y</i>	Иттриевый
<i>Ra</i>	Радиевый	<i>Yb</i>	Иттербиевый
<i>Rb</i>	Рубидиевый	<i>Zn</i>	Цинковый
<i>Re</i>	Ренийевый	<i>Zr</i>	Циркониевый
<i>Rh</i>	Родиевый	<i>[AsO<sub>4</sub>]<sup>3-</sup></i>	Арсенатный
<i>Ru</i>	Рутенийевый	<i>[CO<sub>3</sub>]<sup>2-</sup></i>	Карбонатный
<i>S</i>	Сернистый	<i>[MoO<sub>4</sub>]<sup>2-</sup></i>	Молибдатный
<i>Sb<sup>3+</sup></i>	Сурьмянистый	<i>[NH<sub>4</sub>]<sup>+</sup></i>	Аммониевый
<i>Sb<sup>5+</sup></i>	Сурьмяный	<i>[NO<sub>3</sub>]<sup>-</sup></i>	Нитратный
<i>Sc</i>	Скандиевый	<i>[OH]<sup>-</sup></i>	Гидроксильный
<i>Se</i>	Селеновый	<i>[PO<sub>4</sub>]<sup>3-</sup></i>	Фосфатный
<i>Si</i>	Кремнистый	<i>[SO<sub>4</sub>]<sup>2-</sup></i>	Сульфатный
<i>Sm</i>	Самариевый	<i>[SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup></i>	Силикатный
<i>Sn<sup>2+</sup></i>	Оловянистый	<i>[VO<sub>2</sub>]<sup>3-</sup></i>	Ванадатный
<i>Sn<sup>4+</sup></i>	Оловянный	<i>[WO<sub>4</sub>]<sup>2-</sup></i>	Вольфраматный
<i>Sr</i>	Стронциевый		

Как видно из таблицы, большинство прилагательных имеет окончания -евый, -овый, -ный. Для элементов с различной степенью окисления для нижней валентности принимается окончание -истый. Такое же окончание принимают прилагательные, произведенные от элементов: углерод, хлор, фтор, водород, азот, кислород.

Для серебра и золота делается исключение, их прилагательные именуются серебряный и золотой, поскольку прилагательные серебристый и золотистый применяется для характеристики цвета.

Принятые прилагательные соответствуют правилам по номенклатуре неорганической химии, разработанными Международным союзом теоретической и прикладной химии (ИЮПАК).

Названия минеральных видов и подвидов даются произвольно. Они отражают химический состав, структуру, морфологию минералов, место нахождения или фамилии различных лиц.



Некоторые минеральные группы

Таблица 4

Группа	Минеральный вид, входящий в состав группы	Пространственная группа	Сингония	Формула	Число формульных единиц
Платины	Платина	$O_h^5 - Fm\bar{3}m$	Кубическая	Pt	4
	Палладий	"	"	Pd	4
	Иридий	"	"	Ir	4
Пирита-марказита	Ваэсит	$T_h^6 - Pa\bar{3}$	Кубическая	NiS <sub>2</sub>	4
	Катгьерит	"	"	CoS <sub>2</sub>	4
	Пирит	"	"	FeS <sub>2</sub>	4
	Лаурит	"	"	RrS <sub>2</sub>	4
	Гауэрит	"	"	MnS <sub>2</sub>	4
	Блокит	"	"	NiSe <sub>2</sub>	4
	Тротталит	"	"	CoSe <sub>2</sub>	4
	Вилламанинит	"	"	(Ni, Cu) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	4
Эпинита	Приорит	$D_{2h}^{16} - Pbnm$	Ромбическая	YTiNbO <sub>6</sub>	4
	Эпинит	"	"	CeTiNbO <sub>6</sub>	4
Лепидокрокита	Бемит	$D_{2h}^{17} - Amam$	Ромбическая	AlO(OH)	4
	Лепидокрокит	"	"	FeO(OH)	4
Содалита	Содалит	$T_d^4 - P\bar{4}3n$	Кубическая	Na <sub>4</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ], Cl <sub>2</sub>	1
	Нозеин	"	"	Na <sub>8</sub> [AlSi <sub>4</sub> O <sub>16</sub> ][SO <sub>4</sub> ]	1
	Галли	"	"	Na <sub>6</sub> Ca <sub>2</sub> [AlSi <sub>4</sub> O <sub>16</sub> ][SO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub>	1
Фенакита	Фенакит	$C_2^2 - R\bar{3}$	Тригональная	Be <sub>2</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ]	18
	Виллемит	"	"	Zn <sub>2</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ]	18
	Эвкринтит	"	"	LiAl[Si <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ]	18
Котоита	Котоит	$D_{2h}^{12} - Pnmm$	Ромбическая	Mg <sub>3</sub> [BO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub>	2
	Джембоит	"	"	Mn <sub>3</sub> [BO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub>	2
Деклуазита	Тангеит	$D_2^4 - P2_12_12_1$	Ромбическая	CaCu[VO <sub>4</sub> ]OH	4
	Деклуазит	"	"	Pb(Zn, Cu)[VO <sub>4</sub> ]	4
	Ниробелонит	"	"	PbMn[VO <sub>4</sub> ]OH	4
Клиноглаза	Клиноклаз	$C_{2h}^5 - P2_1/a$	Моноклиненная	Cu <sub>2</sub> [AsO <sub>4</sub> ](OH) <sub>3</sub>	4
	Георгиевезит	"	"	Pb <sub>2</sub> [AsO <sub>4</sub> ]Cl	4
	Саллит	"	"	Pb <sub>4</sub> [AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	4
Триплита	Триплит	"	"	(Mn, Fe) <sub>2</sub> [PO <sub>4</sub> ]F	8
	Триплондит	"	"	(Mn, Fe) <sub>2</sub> [PO <sub>4</sub> ]OH	16
	Вагнерит	"	"	Mg <sub>2</sub> [PO <sub>4</sub> ]F	16
Галотрихита	Галотрихит	$C_2^1 - P_2$	"	(Mg, Fe)Al <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> [SO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub>	4
	Анджонит	"	"	MnAl <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> [SO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub>	4
	Виллимит	"	"	Fe <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> [SO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub>	4
Азурита	Азурит	$C_{2h}^5 - P2_1/c$	"	Cu <sub>2</sub> Cu[CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	2
	Гидроцинкит	$C_{2h}^3 - C2/m$	"	Zn <sub>2</sub> Zn <sub>2</sub> [CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	2
Виллиомита	Виллиомит	$O_h^5 - Fm\bar{3}m$	Кубическая	NaF	4
	Кароббит	"	"	KF	4

В этом отношении показательные цифры, приводимые В.А.Франк-Каменецким. С 1972 по 1976 г. в мире открыто 266 минералов, названия которых распределяются: 1) по химическому составу - 27; 2) по физическим свойствам - 2; 3) по близости к другим минералам - 13; 4) по месту находки и географическим названиям - 72; 5) по имени различных лиц - 138; 6) по другим признакам - 14.

А.С.Шоваренных считает, что в названиях вновь открываемых минеральных видов должны быть отражены такие данные:

а) содержание всех или главных видообразующих электроположительных элементов, названия которых должны основываться на международной терминологии (латинские или древнегреческие корни);

б) принадлежность минерального вида к определенному классу, что достигается прибавлением в конце названия минерала специального окончания характеризующего электроотрицательный элемент или радикал, определяющий класс данного минерального вида (например, для карбидов окончание - карбит; для боросиликатов - боросилит и т.д.).

Следует подчеркнуть, что названия минеральных видов - фразы, как и соотношения минеральных видов с внутривидовыми категориями, динамичны и зависят от уровня наших знаний (разность может стать разновидностью, а разновидность видом (или подвидом)). С открытием новых видов следует пересматривать существенные отличия близких видов, чтобы отграничение их от новых оставалось четким.

Следующей таксономической единицей является группа, которой можно дать такое определение.

Группа - систематическая категория, состоящая из одного или нескольких видов, которые имеют близкий состав и сходную структуру.

Полиморфные модификации, если они различаются лишь расположением ионов в рамках одного и того же структурного мотива (например, модификации  $ZnS$ , кианита и андалузита и др.) относятся к одной группе. Следовательно, группа - собирательная таксономическая категория, состоящая из ряда сходных и близких видов.

Группа связана типовым видом и таким образом ее положение прочно фиксировано. Произвольны лишь объем или границы определенной группы. Все виды данной группы должны обладать большим сходством с типовым видом, чем с типовыми видами других групп.

В табл.4 приведены примеры некоторых минеральных групп.

Между группой и видом можно выделять подгруппу - систематическую категорию, состоящую из минеральных видов, характеризующихся структурным тождеством, т.е. имеющих структуры одинакового типа (изотипные, или изоструктурные минеральные виды).

Так, в группе креннерита можно выделить его подгруппу  $(Au, Ag)Te_2$  и подгруппу сальванита -  $Ag Au Te_4$ ; в группе халькопирита - станина подгруппу халькопирита -  $CuFeS_2$  и станина -  $Cu_2FeSnS_4$ , в группе торинита подгруппу церинита -  $CeO_2$  и бафтелиита -  $ZrO_2$  и др.

Группы объединяются систематической категорией, которая именуется семейством. Минеральные семейства, как и семейства в зоологии, широко распространены по всему земному шару. Представителям каждого семейства свойственен определенный внешний облик. Кроме того, все виды данного семейства обычно занимают сходные ниши в характерных для них парагенезисах и характеризуются близкими условиями образования.

В качестве типичных семейств можно назвать пироксены, амфиболы, полевые шпаты, цеолиты, слюды, хлориты, урановые слюдки, шпинели, кварцы и др.

Между группой и семейством можно выделить ряд, т.е. систематическую категорию, состоящую из групп минеральных видов, характеризующуюся одинаковым расположением структурных единиц, в одном, двух и трех измерениях. Так, в семействе цеолитов это: 1) трехмерные (изометрические) цеолиты; 2) двумерные (пластинчатые) цеолиты и 3) одномерные (волокнистые) цеолиты\*.

Семейства объединяются в подотделы и отделы.

Подотдел – систематическая категория, состоящая из одного или нескольких семейств или групп, характеризующаяся отсутствием или наличием в минеральных видах дополнительных анионов и молекул воды в кристаллической структуре.

Например, к подотделу без молекул воды и дополнительных анионов из класса силикатов принадлежат: семейство полевых шпатов (группа плагиоклаза, группа ортоклаза), семейство фельдшпатитов (группа нефелина, группа лейцита) и др.

К подотделу с добавочными анионами – группа скаполита, группа содалита и др.

Представителем подотдела минеральных видов, содержащих воду, является семейство цеолитов (группа анальцима, группа шабазита и др.).

Отдел – систематическая категория, состоящая из одного или нескольких подотделов, характеризующихся особенностями комплексного радикала\*\*.

К отделу из класса силикатов, например, принадлежат алкмосиликаты, боросиликаты, ортосиликаты и др.

Отделы и подотделы объединяются в классы и подклассы, которым можно дать такое определение.

Подкласс – систематическая категория, состоящая из одного или нескольких отделов, характеризующихся одинаковым ведущим структурным мо-

\* Ряды, выделяемые Х.Штринцем, в одних случаях отвечают группам (например, ряд офалерита, галенита и др.), а в других – подгруппам (например, ряд кобальтина, ульманита в группе кобальтина – ульманита).

\*\* Некоторые авторы выделяют отделы по степени сложности состава или строения минеральных видов. Например, в классах окислов, фосфатов и других они выделяют отдел простых и отдел сложных.

тивом (типом сцепления атомов или основных радикалов). По этому принципу выделяются подклассы минеральных видов: координационные, каркасные, кольцевые, островные, цепочечные, слоистые.

В отдельных случаях между подклассом и отделом можно выделить отряды, например в подклассе островных ванадатов отряд ортованадатов (с радикалом  $VO_4$ ).

**Класс** – систематическая категория, состоящая из одного или нескольких подклассов, характеризующихся одинаковым ведущим анионом или радикалом, определяющим тип химического соединения.

В соответствии со сказанным все минеральные виды можно разделить на 23 класса: 1. Простые вещества. 2. Карбиды, нитриды и фосфиды. 3. Собственно сульфиды и их аналоги. 4. Персульфиды и их аналоги. 5. Сульфосоли. 6. Теллуриды. 7. Окислы и гидроксиды. 8. Силикаты. 9. Бориты. 10. Ванадаты. 11. Арсенаты. 12. Фосфаты. 13. Селениты и теллуриды. 14. Вольфраматы и молибдаты. 15. Хроматы и селенаты. 16. Сульфаты. 17. Карбонаты. 18. Иодаты. 19. Нитраты. 20. Хлориды, бромиды и йодиды. 21. Оксихлориды и оксифториды. 22. Фториды. 23. Соли органических кислот.

Новым в приведенном перечне является выделение класса персульфидов. Это название введено В.С.Соболевым для пирита и подобных ему соединений, являющихся производными дусернистого водорода. В.И.Вернадский называл их полисернистыми соединениями, подчеркивая необходимость отделения от обычных сульфидов.

Классы объединяются в типы\*, которым можно дать следующую формулировку.

**Тип** – систематическая категория, состоящая из классов, имеющих одинаковый характер химического соединения и одинаковый ведущий тип химической связи. Все минеральные виды по этим признакам делятся на пять типов: 1) гомеоатомные\*\* и близкие к ним соединения; 2) сульфиды и близкие к ним соединения; 3) кислородные соединения; 4) галогенные соединения; 5) органические соединения\*\*\*.

Простым веществам свойственен главным образом металлический тип связи; в сульфидах и близких к ним соединениях связь между структурными единицами в основном ковалентная и донорно-акцепторная. Кислородные

\* Понятие типа как высшей таксономической категории, объединяющей классы, предложил В.С.Соболев.

\*\* Понятие введено А.С.Поваренных.

\*\*\* В последнем издании "Системы минералогии" Дена типы выделяются в пределах классов по характеру соединений:  $A_m X_n$ ,  $Am Bn X_3$  и т.д. В справочнике "Минералы" группы объединяются структурным типом (структура типа галита, структура шпинелевого типа и т.д.), которые соответствуют семействам приведенной таксономической иерархии.

и галоидные соединения имеют главным образом ионный характер связи, а органические соединения – молекулярный (связь за счет сил Ван-дер-Ваальса).

Наивысшей таксономической категорией является мир, включающий все разнообразие существующих в природе минеральных видов, подвидов, разновидностей, разновидностей и их ассоциаций и объединяющий все существующие таксономические единицы.

Ниже на примере натролита  $Na_2[Al_2Si_3O_{10}] \cdot 2H_2O$  показано место минерального вида в общей иерархии таксономических категорий:

Мир – минералы

Тип – кислородные соединения

Класс – силикаты

Подкласс – цепочечные

Отдел – алюмосиликаты

Подотдел – содержащие молекулы воды

Семейство – цеолиты

Ряд – нет

Группа – натролита

Подгруппа – нет

Вид – натролит.

Рассмотренные таксономические категории минерального мира – основа для построения различных классификационных систем.

Однако не все из них имеют одинаковое значение в минералогии. В то время как одни являются общими для всех минеральных видов, другие – характерны лишь для некоторых или даже единичных.

Г.А.Булкин, Т.В.Никифорова, А.Е.Толенев

#### О РАЗРАБОТКЕ КЛАССИФИКАТОРОВ ПО МИНЕРАЛОГИИ

Язык – один из важнейших компонентов науки, который постоянно совершенствуется и развивается. Неоднократно отмечалось (Воронин и др., 1967), что язык минералогии, как и всей геологии, недостаточно формализован при неразвитости логической части. Это серьезное препятствие для дальнейшего развития минералогии и эффективного внедрения ЭИМ и других средств автоматизации при минералогических исследованиях. Однако математизация и автоматизация являются одним из основных направлений развития минералогии и других геологических наук. Автоматизированные информационные системы (в том числе банки данных), автоматизированные системы минералогического диагноза, металлогенического прогноза, динамического геологического картирования приобретают в последние годы все большее и большее значение.

Разработка любой из перечисленных здесь систем включает в себя создание искусственного информационного языка (ИЯ), призванного уменьшить

недостатки "естественного" геологического языка настолько, чтобы можно было автоматизировать хотя бы часть операций, производящихся геологом "вручную". Под ИЯ понимается определенная семантическая система, с помощью которой смысловое содержание сообщений выражается так, чтобы любую единицу информации можно было бы находить и сравнивать с другой ее единицей. Следовательно, ИЯ предназначен для фиксации информации, ее автоматизированного поиска и обработки на ЭВМ. Основными компонентами ИЯ являются: 1) словарь терминов с их связями по словарю; 2) правила объединения терминов в более крупные структуры.

Словарь терминов ИЯ обычно подразделяется на смысловые поля, при выборе которых чаще всего пользуются так называемым фасетным подходом. Аспекты описания геологических объектов сводятся в близкие по смыслу фасеты. В большинстве случаев эти аспекты соответствуют номенклатуре и таксономии вещества геологических объектов (к минералогии имеют отношение фасеты "руда", "минерал"), их свойств, процессов образования и изменения ("околорудные изменения"), их временных и пространственных характеристик, внешних форм ("кристаллографические формы", "минеральные индивиды") и внутреннего строения ("текстуры и структуры руд"), а также методов исследования объектов, процессов, взаимоотношений ("минералогический анализ") или системы знаний, определяющей предмет исследования или практического использования. При выборе смысловых полей по сложным геологическим объектам, каждый из которых состоит из более простых, следует учитывать их естественные иерархические отношения. Распределение основных смысловых полей ИЯ по фасетам и уровням структурности приведено в табл. I.

После выбора фасетов ИЯ в пределах каждого из них стоит задача разработки классификаторов терминов, которая складывается из набора терминов и организации общей структуры. Набор терминов или словарного состава смыслового поля может производиться следующими путями:

1. Выбор терминов априори, что чаще всего применяется при разработке информационных систем узкоцелевого назначения. Этот метод удобен при организации систем, необходимых для конкретных тематических исследований в небольших по масштабам регионах, где разнообразие геологических ситуаций невелико, а разработчик системы хорошо владеет геологическим материалом. Такой путь чаще всего реализуется при разработке перфокартных систем.

2. При большом разнообразии геологической информации, охватывающей некоторую в смысловом и территориальном отношении область, эрудиция одного или нескольких специалистов-геологов становится недостаточной. При наборе лекоики большое значение приобретают существующие классификации геологических объектов или их признаков, терминологические разработки и их списки, словари (геологический, минералогический и др.), общие и вводные курсы соответствующих разделов геологии и т.п.

Распределение основных смысловых полей ИЯ по МПИ по базовым фасетным категориям и  
уровням структурности геологических объектов

Уровень иерархии	Вещество	Структура	Пространство	Время	Энергия, процесс	Свойства, признаки	Метод ис- следования	Система знаний
Химический элемент	Химический элемент, вид полез- ного иско- паемого							
Минерал	Минерал, вид полез- ного иско- паемого	Структура и строе- ние зерен и кристал- лов	Кристалл, зерно, форма, положение	Возраст, последо- ватель- ность от- ложения	Образо- вание, из- менение	Цвет, твердость и др.	Минерало- гический, шлиховой, микроско- пический	Минера- логия
Порода или руда	Горная порода, руда	Текстуры и структуры руд и гор- ных пород	Форма, поло- жение, гео- лого-геогра- фические признаки, координаты	То же	Образова- ние, изме- нение, процесс	Цвет, прочность и др.		
Совокуп- ность по- род или руд (мес- торожде- ние, уча- сток и др.)	Совокуп- ность руд и горных пород	Зональность, складчатые и размывные структуры	Номенклатура карты, коор- динаты, гео- лого-геогра- фические при- знаки, форма тел и зон	" "	Образова- ние, изменение, процесс			

3. Большинство перечисленных материалов фиксирует состояние терминологии в науке с заметным отставанием во времени (обычно не менее 4-5 лет, в среднем более 8). При современных темпах развития геологии, когда период полустарения документографической информации в некоторых ее разделах, например геология месторождений полезных ископаемых, соизмерен с указанным сроком (Константинов и др., 1970), второй способ набора терминов может оказаться недостаточным в отношении наиболее новых терминов и тогда потребуются анализ составленных на "естественном" языке описаний соответствующих объектов в опубликованных и неопубликованных геологических документах самого последнего времени.

4. В ряде разделов геологии, в том числе и в минералогии, введены в действие автоматизированные системы (Мошкин и др., 1973; Плескова и др., 1974) и имеются словари ИЯ по этим разделам. Лексика словарей, а также разного рода терминологических списков также должна использоваться при сборе терминов смысловых полей по минералогии.

Таким образом, составляется перечень слов (словник) каждого смыслового поля. На основании массива описаний создается указатель частот терминов, который служит основанием для статистического анализа употребления слов смыслового поля. Его цель - определение значимости термина в системе, выбор терминов при организации структуры смыслового поля и степени его детализации.

После сбора словарного фонда смыслового поля возникает необходимость разработки его структуры. Последняя создается на основе двух смысловых типов отношений, связывающих термины в пределах поля - эквивалентных (синонимических) и иерархических (родо-видовых). Первые строятся на основе создания классов условно-эквивалентных терминов (синонимов) с выбором в качестве дескриптора употребляемого термина, представляющего класс. В результате одно и то же понятие обозначается только одним термином (дескриптором).

Вторые (иерархические) отношения строятся на основе содержательных геологических классификаций, имеющих для терминов соответствующего смыслового поля. Поэтому разработке структуры поля должен предшествовать анализ понятийной базы имеющих геологических классификаций. При этом рассматриваются: наименование классифицируемого множества (объекты, свойства, понятия); дефиниция его единицы и других категорий, на которых основывается классификация; ее детерминированная база, аксиомы и т.п.; представительность материала по всему объему классификации; характеристика признаков и их наборов, использованных при построении классификации (альтернативность, взаимосвязанность и другие свойства); цели; правила использования; объем и возможность сужения, расширения и других преобразований классификации; ее вид, структура и связь с номенклатурой.

Результаты анализа наиболее употребляющихся классификаций некоторых смысловых полей ИЯ и в их числе поля "минералы" с точки зрения



формально-логических требований, предъявляемых к классификациям, приведены в табл.2. Из рассмотрения ее данных следует, что лишь единичные из них не содержат серьезных нарушений указанных требований. Дополнительным недостатком многих геологических классификаций является нена-

Т а б л и ц а 2

Статистика нарушений  
формально-логических требований к классификациям

Характеристика классификаций	Смысловое поле			
	Минеральный состав	Горные породы	Складчатые структуры	Разрывные структуры
Общее число классификаций	11	19	6	5
Число классификаций с отсутствием формулировки целей классификации	1	4	1	1
Число классификаций с отсутствием указаний на способы и области использования	1	2	2	1
Число классификаций с недостатками в понятийной базе:	7	18	5	1
отсутствие определения классифицируемого множества	1	2	2	1
отсутствие определения единицы множества или других категорий классификации	3	2	3	2
отсутствие в явном виде признаков делимости или оснований классификации	1	18	5	1
неполные сведения о признаках объектов, их групп и всей классификации	7	16	5	1
Число классификаций с нарушением формально-логических правил построения:	5	19	5	4
деление производится не по одному признаку	3	9	5	4
один объект классификации одновременно входит в два и более таксона	-	11	5	3
в классификации имеется скачок через один и более уровней иерархии	3	12	2	-
классификация не охватывает все объекты классифицируемого множества	-	5	-	-
признаки деления зависимы между собой или используются более, чем один раз	2	4	5	3
разные части классификации подразделены на основании различных признаков	5	13	5	3

блудаемость признаков деления или отсутствие алгоритма операций определения этих признаков. Очень распространены классификации, в которых отдельные части разработаны не только на основе разных признаков, но даже различных принципов.

Особо следует остановиться на значительном числе классификаций, которые строятся на основании так называемого генетического подхода. Для них характерно нарушение большинства основных требований, предъявляемых к классификациям. Это и недостатки в разработке понятийной базы (отсутствие определения классифицируемого множества, его единицы, признаков деления и полных сведений о них), и нарушение формально-логических правил (обычно по большинству пунктов сразу), и неопределенность признаков деления, и отсутствие единого подхода для классифицируемого множества в целом.

В качестве примера кратко рассмотрим термины по структурам и текстурам руд и горных пород. Во II томе "Геологического словаря" (1973) имеется три определения понятия структуры: 1) структура; 2) структура осадочных горных пород; 3) структура руд и два - текстур; 4) текстура горных пород; 5) текстура руд. Все определения, которые здесь опускаются, сделаны на основе различных подходов. Для кристаллических и осадочных горных пород и руд они определены с помощью различных признаков, часто не пригодных для характеристики указанных геологических объектов в целом. Например, степень кристалличности, входящая в определение 1), отсутствует в определении 3). Внешние особенности "зерен и их агрегатов" входят в определение структур горных пород, в определении структур руд учитываются лишь признаки, относящиеся к "зернам". Текстуры горных пород отражают признаки, относящиеся к "составным частям породы", а текстуры руд - к "минеральным агрегатам". В результате возникает неопределенность терминов, не ясно, является ли "зерно" и "минеральный агрегат" частью горной породы или, наоборот, "минеральный агрегат" состоит из нескольких пород! Если к этому прибавить весьма сомнительный термин "строение" (его "признаки" и "особенности"), присутствующий в определении структур и текстур и не раскрытый в "Словаре", то вряд ли появится необходимость в дополнительной иллюстрации состояния терминологической базы данного смыслового поля.

Имеющиеся классификации структур и текстур преимущественно генетические и не вносят существенного улучшения в это состояние. Рассмотрим, например, "генетическую классификацию структур руд" С.А. Юшко (1966). Практически этой классификации присущи все формально-логические дефекты (см. табл. 2). Это и отсутствие в явном виде определений признаков делимости (например, чем "осколочная" форма зерна отличается от "обломочной", "бластозерна" от "метазерен", "коллоидная форма зерен" от "коллоидного" типа минеральных зерен и т.п.), отсутствие цели классификации (делится ли форма зерен и их агрегатов на основании первичных и вторич-

ных генетических процессов или, наоборот, отнесение к этим процессам происходит на основании морфологических признаков), неполные сведения о признаках ("класты" обломочные в процессе коагуляции коллоидов" трудно отличить без дополнительных определений от "кластов" катакластических "в процессе дробления и смятия"); деление производится сразу по двум признакам (например, по типам минеральных зерен и одновременно по процессу образования структур), причем отдельные признаки деления встречаются по два раза (см. "класты" среди типов минеральных зерен) или отсутствуют вообще (см. название типа зерен, соответствующего вторичным метакolloидным структурам); признаки деления взаимозависимы (например, "коллоидная" форма зерна, "коллоидное вещество" как тип минеральных зерен и "коллоидные процессы" практически совпадают, один объект классификации входит в ее два таксона (например, афанитовая структура попадает и в группу процессов кристаллизации из расплавов и растворов, и в группу метасоматических процессов, а субграфическая структура - в разделы "метазерна" и "бластозерна").

Цель анализа классификаций каждого смыслового поля - не только определение их недостатков, но и изучение признаков, служивших основанием для подразделения на те или иные классификационные группы, с последующим выбором отдельных классификаций, их фрагментов или признаков подразделения, пригодных для использования при построении структуры смыслового поля, т.е. классификатора терминов.

Разработка классификаторов терминов по геологии в целом и минералогии в частности должна проводиться с максимальным учетом формально-логических правил и общего уровня науки по соответствующему разделу. Опыт разработки классификаторов важен для создания содержательных логически грамотных классификаций по геологии и минералогии как промежуточный (искусственный) этап работы над подобными классификациями. Они одинаково нужны и для дальнейшего развития геологии, и для внедрения в нее основных результатов научно-технической революции.

Г.Б.Бокий, Н.Н.Кочанова, М.П.Анисимова

#### ИНФОРМАЦИОННО-СЕМАНТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В МИНЕРАЛОГИИ

Природные неорганические соединения (минералы), несмотря на их малочисленность, относятся к одному из важнейших в теоретическом и практическом отношениях классов химических веществ. Подобно другим химическим соединениям, они имеют название, формулу, структуру и другие поисковые данные.

При создании автоматизированных информационных систем, призванных улучшить поиск информации, требуется формализованный язык, позволяющий точно, полно, а главное однозначно охарактеризовать важнейшие особен-

ности строения и свойств минералов. Одновременно с решением задачи полной автоматизации информационного поиска минералов решаются вопросы обеспечения наиболее оптимальной структуры справочно-поискового аппарата в соответствии с требованиями специалистов данной области на базе научно обоснованной классификации. В частности, для однозначного представления сведений о природных неорганических соединениях в машинную память необходимо решить проблему единой систематизации соединений переменного состава.

Несмотря на большое количество научных работ по систематизации минералов, они несовершенны, поскольку нет четко сформулированного определения основных минералогических понятий. Минералогическая семантика отличается сложностью понятийной базы и слабой формализацией терминологии. В научной литературе часто ставится знак равенства между терминами "минерал" и "минеральный вид", хотя эти понятия не тождественны. Дискуссионность и неразработанность рассматриваемых вопросов приводят к терминологической путанице и неоднозначности условий записи исходной информации при подготовке данных для ввода в память ЭМ.

Нами принято определение минерального вида (Бокий, 1974), позволяющее провести условные границы существования таких основных понятий, используемых в первичных документах, как "минеральный вид", "разновидности минерального вида" и т.д. Это позволило сформулировать правила построения лексических единиц информационно-поискового языка для минералов. В качестве основных лексических единиц выделены названия минеральных видов, разновидностей (двух типов), полиморфных модификаций и смесей, а также структурных типов и химических классов.

Для фаз переменного состава, где в любых интервалах может существовать соединение, крайние члены изоморфного ряда — "минеральные виды". Соединения, занимающие промежуточное положение в изоморфном ряду, где второй компонент составляет 25 — 75%, являются "межвидовыми разновидностями". "Видовая разновидность" привязана к одному минеральному виду непрерывным переходом состава. Соединения с примесью второго компонента менее 15% рассматриваются как "внутривидовые разновидности". При подготовке поискового массива минералов и кодировании информации во всех случаях проводится перерасчет молекулярных формул по данным химического анализа с учетом изоморфных соотношений.

При составлении "Информационно-поискового тезауруса по минералам" (Бокий и др., 1976; 1977), изданного ВИНТИ АН СССР, строго проанализирован лексический массив следующих классов минералов: Самородные элементы. Интерметаллические соединения. Карбиды. Нитриды. Арсениды. Простые окислы. Сложные окислы и гидроксиды. Сульфиды и их аналоги. Галогениды. Понятийная структура тезауруса приведена в табл. I.

Из данных таблицы следует, что минеральных видов значительно больше, чем остальных минералогических особей. Все минеральные виды распре-

Таблица 1

Класс	Минеральный вид	Минеральная разновидность		Смесь	Псевдоморфоза	Структурный тип
		видовые	межвидовые			
Самородные элементы	56	12	9	14	2	12
Интерметаллические соединения	14	-	-	-	-	3
Карбиды	7	-	-	-	-	2
Нитриды	5	-	-	-	-	-
Арсениды	52	2	-	13	-	7
Простые окислы	82	1	3	52	7	36
Сложные окислы	229	9	30	52	2	55
Гидроокиси	94	1	-	15	3	43
Сульфиды	318	9	10	66	4	61
Теллуриды	70	1	-	8	-	11
Галогениды	112	2	2	17	-	38
Всего:	1039	37	54	217	18	268

делены по 267 структурным типам. Видовые и межвидовые разновидности составляют около 9% минеральных видов. Количество смесей - 217 ед. (~20%).

Для связи терминов в словаре используются синонимические, родовидовые и ассоциативные типы отношений. Данные по синонимии приведены в табл.2.

Таблица 2

Класс	Дескриптор Д	Недескриптор НД	НД/Д
Самородные элементы. Интерметаллические соединения. Галогениды	268	273	1,00
Карбиды. Нитриды. Арсениды, сульфиды и их аналоги	683	680	0,99
Простые окислы	255	444	1,74
Сложные окислы. Гидроокиси	473	689	1,47
Всего:	1679	2086	1,24

Как видим, процент синонимии высок. Всего в названиях минералов указанных классов выявлено 2086 синонимов, что составляет свыше 55% общего числа проанализированных названий. Группы условной эквивалентности для указанных классов различны. Например, самое низкое отношение НД/Д отмечается для классов: Самородные элементы. Интерметаллические соединения. Карбиды. Нитриды. Арсениды. Сульфиды и их аналоги. Галогениды. Практически на одно название приходится один синоним. Минералы класса простых окислов имеют ~ по два синонима.

В процессе лексикографической обработки минералогической терминологии при составлении тезауруса имели место факты, когда в литературе под одним и тем же термином объединялись совершенно различные понятия. Всего отмечено 36 случаев лексической омонимии. При рассмотрении названий минералов мы встретились со следующими примерами использования одного названия для: обозначения минерального вида и смеси; указания минеральных разновидностей и смеси; двух различных смесей или двух разновидностей; обозначения нескольких минеральных видов и смеси; обозначения минерального вида и видовой разновидности; минерального вида и двух синонимов, относящихся к различным минералогическим видам.

В подобных ситуациях для устранения омонимии каждый многозначный термин снабжается определителем (цифровым индексом). Например, название "Аляскаит" встречается в литературе для обозначения минерального вида и смеси. В тезаурусе минеральный вид назван "Аляскаит I", смесь - "Аляскаит II". Название "Вандендрисшеит" используется для двух минералогических видов и смеси. В этом случае нами употребляются три названия: "Вандендрисшеит I", "Вандендрисшеит II", "Вандендрисшеит III".

При анализе терминов, включенных в тезаурус, нами отмечены также и другие варианты употребления одного названия для: минерального вида и синонима; смеси и синонима; междувидовой разновидности и синонима; внутривидовой разновидности и синонима.

Для обеспечения полноты и точности информационного поиска и устранения неоднозначности такого рода в тезаурусе названия выделяются разным шрифтом. В качестве примера можно привести такие названия, как "Железная охра", "Мозит". При их употреблении в качестве синонима используется мелкий шрифт ("Мозит", "Железная охра"), а в качестве минерального вида или смеси - крупный шрифт ("МОЗИТ", "ЖЕЛЕЗНАЯ ОХРА").

В заключение следует отметить, что названия минералов составляют значительную часть терминологии, используемой в минералогии, и, следовательно, играют важную роль в процессе функционирования системы научной коммуникации.

В. Н. Сергеев

#### РОЛЬ АНАТОМИИ ИНДИВИДОВ В РАЗВИТИИ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ МИНЕРАЛОГИИ

Понятие о природном минеральном индивидуе - одно из фундаментальных определений минералогии и оно, видимо, будет постоянно совершенствоваться и развиваться. Анатомия минеральных индивидов (Григорьев, 1971) является неотъемлемой составной частью онтогении (Григорьев, Ясин, 1975) минералов. Результаты исследований вызывают необходимость рассмотрения

некоторых сторон вопроса таксономии в минералогии, в частности содержания, соподчинения и связи таких понятий, как "агрегат", "индивид", "субиндивид" (субиндивиды разных порядков), "кристаллит", а также "текстура" и "структура".

При практическом употреблении этих терминов необходимо знание анатомии конкретной природной минералогической постройки, иначе не всегда удастся уверенно классифицировать и правильно распознавать встречающиеся минеральные образования. Особенно очевидно это при изучении анатомии\* порой очень сложных минеральных индивидов, разнообразных агрегатов и построек с ориентированным, закономерным расположением составляющих их субиндивидов и структурных элементов.

Нередко термин "агрегат", "индивид", "минеральное зерно", "кристалл" получают часто "поверхностное толкование" при визуальном осмотре объекта, поскольку без тщательного исследования анатомии по внешнему облику минерального образования, являющегося отражением конечных стадий формирования, часто нельзя утверждать: действительно ли это монозерно, каковым оно представляется нам при изучении внешней морфологии, или поликристаллическая постройка, каковой она может оказаться при наблюдении ее анатомического строения. Даже идеальное внешнее ограничение не может служить критерием монокристалличности, особенно для непрозрачных рудных минералов. Субиндивиды различных порядков, син- и эпигенетическое блокирование, расщепление и т.п. убеждают в том, что внешне "благополучный" кристалл оказывается полизернистым образованием, причем размеры отдельных субиндивидов низших порядков делают понятие о монозерне несостоятельным. Появляется представление о закономерной упорядоченности, соподчиненности, морфолого-структурно различной в неодинаковых и конкретных условиях, что приводит к возникновению агрегатов, сростков, сообществ ориентированных (деориентированных) субиндивидов, объединенных на конечном этапе формирования общей облекающей оболочкой, отвечающей идеальной форме кристалла. С другой стороны, некоторые упорядоченные агрегаты без достаточного познания их анатомии и онтогении относятся к "индивидам", поэтому можно говорить о сферических образованиях

\* В термин "анатомия минерального индивида" нами вкладывается представление о совокупности разнообразных структурных элементов, сингенетичных и эпигенетичных росту; зоны и пирамиды роста, объемные образы вершин и ребер (Григорьев, 1971) субиндивиды разных порядков, разнообразные границы раздела, эпигенетические блоки, поверхности растворения, плоскости (трещинки) пластических деформаций и пористость выщелачивания, включения других минералов и т.п., которые в определенной комбинации объединяются в единый структурный узор последовательным развитием историко-геологических и физико-химических процессов, проявившихся и запечатленных в масштабе кристаллического зерна.

ях типа сферолитов, оолитов и т.п. Собственно сферолиты, несомненно, относятся к агрегатам, а их шарообразная или приближающаяся к таковой форма не может служить признаком, позволяющим относить их к индивидам.

Сферолит, зарождающийся на обломках пород, выступает в стенках трещин или скоплениях зерен, складывается множеством "равноправных" зародышей с последующим геометрическим отбором и развитием самостоятельных шестоватых индивидов, которые связаны, как и параллельно-шестоватые агрегаты законами геометрического отбора, друзового и "шестоватого роста" многих индивидов в стесненных условиях и в своей основе являются типичным агрегатом. С другой стороны, индивиды сферической формы состоят из множества соподчиненных субиндивидов или имеют сложное анатомическое строение с сочетанием разнообразных син- и эпигенетических структурных элементов, появляющихся в специфических условиях при формировании кристалла-хозяина. Сферические формы имеют некоторые расщепленные кристаллы (Сергеев, 1963; 1976) и индивиды со сложной сферической ритмичностью, характеризующей условия периодического колебания: рост  $\rightleftharpoons$  растворение, при преобладающем росте (Сергеев, 1970). В подобных сложнопостроенных индивидах появление "неупорядоченности" субиндивидов может носить лишь локальный характер, затрагивать отдельные пирамиды роста граней неустойчивой формы, спорадически появляться и исчезать на протяжении истории его формирования при ориентирующей и базисной роли кристалла-хозяина. Сферический облик и структурные узоры анатомического сложения, напоминающие сферолиты, содержат широко распространенные в железорудных эксплозионно-гидротермальных месторождениях Сибирской платформы зонально-секториальные индивиды магнетита с развитием в пирамидах роста граней систем трещинок пластических деформаций, перпендикулярных к зональности роста, причем последняя часто не проявляется, что придает индивидам большое сходство со сферолитами, состоящими из радиально расходящихся от центра шестоватых индивидов.

Анатомическое исследование должно предшествовать составлению формулировки и понятия о конкретных минеральных образованиях и учитываться при отнесении их к минеральным индивидам или агрегатам. Для этого есть и целый ряд других веских соображений, относящихся к понятиям типоморфизм, изоморфизм, полиморфизм, политипия и т.п., изучение и совершенствование которых должно быть тесно связано с топоанатомической основой изучаемых минеральных индивидов и агрегатов. Прежде всего это относится к значению топоанатомической основы для познания законов анизотропии химического состава и физических свойств природных минералов при локальных прецезионных исследованиях и связи полученных данных с последовательной историей зарождения, роста и преобразования минерального индивида на протяжении его жизни в земной коре, с процессами и условиями его эволюции, т.е. с генезисом мине-



рала<sup>\*</sup>. Объемные структурные элементы, совокупность которых представляет анатомическое сложение, часто на стадиях зарождения и роста имеют резкую анизотропию химического состава и физических свойств. Эта неоднородность может усиливаться, становиться более пестрой или сглаживаться, в зависимости от характера и истории развития процессов эволюции.

Проблемы изоморфизма и химических примесей в минерале должны решаться на топоанатомической основе. Это прежде всего связано с анизотропным распределением примесей, на что указывает Д.П. Григорьев (1967), говоря об "онтогении химических примесей". Химические примеси в природном индивиде, как и сам кристалл, имеют свою сложную и длительную историю эволюции.

Примеси могут появляться в индивиде на том или ином этапе его истории, перераспределяться, полностью выноситься за его пределы и вновь проникать в индивид. Можно говорить о сингенетических, синхронных росту, и эпигенетических, асинхронных, примесях, связанных своим появлением с последовательными метаморфическими преобразованиями. Эволюция химических примесей на всех этапах существования тесно связана с изменениями в анатомии минерального индивида в целом и отдельных элементов его анатомического сложения в частности. Появление некоторых анатомических узоров, например зонально-секториального строения магнетита, иногда связано с неодинаковой адсорбцией примеси магния пирамидами роста граней (111) и (110), что резко выражено у магнетитов из магнезиальных скарнов (Тейское месторождение, Хакассия) и магнетитов, магномагнетитов и магнезиоферритов из эксплозионных скарновых, жильно-гидротермальных месторождений Сибирской платформы, связанных с трапповой магмой. В регенерированных индивидах магнетита внутренние "реликтовые" части зерен и новообразованные каймы имеют различный химический состав, что подчеркивается структурным травлением. Например, анизотропия такого физического свойства, как твердость, наблюдается у магнетита (Сергеев, Тюлюпо, 1972) первой генерации из месторождений Коп-Тау (Горная Шория) и объясняется наличием отдельных зерен и их участков, которые подверглись избирательно пластическим деформациям и имеют пониженную твердость (до  $595 \text{ кг/мм}^2$ ), а зерна или их участки, незатронутые деформациями, обладают большой твердостью (до  $691 \text{ кг/мм}^2$ ). Распределение микротвердости в шестоватом кристалле магномагнетита с р. Илимпей следующее: в гладких плотных зонах -  $1271 \text{ кг/мм}^2$ , в "пористых" зонах - 1100 и в центральной

<sup>\*</sup> В случае игнорирования при различных локальных прецизионных анализах топоанатомической основы появляются валовые или случайные результаты исследований состава и свойств вещества индивидов и агрегатов (Сергеев, 1967), что ведет к серьезным искажениям в генетической интерпретации, априорным суждениям и ошибкам о связи свойств, состава, морфологии и истории эволюции природного образования.

пористой части - "ядре" -  $1053 \text{ кг/мм}^2$ . В этих зернах магнетита возможна селективная абсорбция примеси  $\text{MgO}$ , с чем, видимо, связана и слабая оптическая анизотропия центрального ядра и пористых зон.

Типоморфизм анатомического строения минералов относится к универсальным признакам и выражается в комплексе характерных элементарных деталей или особенностях и наборе их сочетаний в структурном узоре, что и придает индивиду ту морфологическую индивидуальность, которая обусловлена конкретными геолого-историческими, физико-химическими условиями формирования, механизмом конкретных процессов и последовательностью их проявления в земной коре, группе месторождений, отдельном рудном теле, генерации минерала и т.д.

Первые попытки освещения вопроса о типоморфизме анатомического строения индивидов магнетита из скарных и гидротермальных месторождений, изложены в специальной статье (Сергеев, 1974). Для титаномагнетитов и магнетитов из магматогенных месторождений и интрузивных пород характерны структуры "распада", решетчатые, штриховые, точечные, выражающиеся в наличии включений пластинок или мелких зернышек ильменита и минералов группы шпинели, а также полых трещинок на месте выщелоченных минеральных включений. Широко распространены структуры рекристаллизации и полной перекристаллизации с очисткой зерен магнетита от примесей и включений (например, вашингтонитовые руды). Наблюдаются сферически ритмичные узоры минеральных индивидов, возникшие в результате диффузионных процессов, процессов выщелачивания и рекристаллизации, коррозии и окисления. Примером таких сложных построек могут служить метаморфизованные титаномагнетиты месторождения Малый Куйбас на Урале, которые относятся к высокотемпературным, высокотитанистым рудам магматогенного происхождения. Данные, полученные с помощью рентгеноспектрального микроанализатора, показали, что в периферийных каймах зерен содержится около 3%  $\text{TiO}_2$ , а в центральных частях - лишь 0,5-1%. Сложное анатомическое строение из участков рекристаллизации, пористости выщелачивания, реликтов первичного титаномагнетита, пятнами новообразованного гематита, системами трещин деформации имеют титаномагнетиты Качарского месторождения на Урале, которые относятся к малотитанистым рудам, образовавшимся при значительном участии метасоматических процессов (Сергеев, Фоминих, 1974).

Магнетитам из метаморфогенных месторождений типа железистых кварцитов свойственны структуры деформаций, замещения, коррозии, окисления, пористости выщелачивания, рекристаллизации и включений нерудных минералов (пойкилитовые). Здесь наблюдается тенденция к выравниванию распределения химических примесей и очистки от них. Анатомическое сложение "монотонное", изотропное. При исследовании руд Уссурийской группы месторождений (Приморье) благодаря изучению анатомии индивидов установлена, например, следующая последовательность формирования минералов и колебания окислительно-восстановительной обстановки (Сергеев, Василенко, 1976):

гематит I → магнетит I → магнетит II (мушкетовит) → гематит II (мартит) → магнетит III → гематит III. Мушкетовит, по-видимому, довольно распространенное образование в железистых кварцитах, а отсутствие частого упоминания о нем в литературе связано с трудностями диагностики, которые преодолеваются при выявлении анатомического строения индивидов (Сергеев, 1963).

Знания анатомии минеральных индивидов, несомненно, будут широко использоваться не только в научной, но и в различных прикладных областях техники и промышленности. Например, корреляция по морфогенетическим узорам анатомического строения индивидов широко распространенных минералов или по отдельным характерным элементам этих узоров может служить целям поиска месторождений более редких и рассеянных минералов, которые тесно ассоциируют с первыми (магнетит - золото, пирит - золото, магнетит - шеелит, пирит - кобальтин и т. д.). Анатомия минеральных индивидов и агрегатов позволит на новом фактическом и минерогенетическом уровне проводить минералогическое картирование, которое призвано вскрывать "масштабные" закономерности минерогенеза. Выявление типоморфных особенностей анатомии минералов позволяет расширить круг онтогенетических критериев для поиска и оценки месторождений полезных ископаемых, выявление различных минералообразующих процессов и последовательности их проявления.

А. Г. Булах

#### О СОДЕРЖАНИИ ПОНЯТИЙ "МИНЕРАЛ" И "МИНЕРАЛЬНЫЙ ВИД"

В отечественной литературе появляется все большее число новых определений понятий "минерал" и "минеральный вид". Это отражает естественный ход развития минералогии как науки и существование в ней разных школ с различными областями и методами исследований. Противоречивость некоторых формулировок и дискуссионность некоторых из них всесторонне рассмотрены Г. Б. Бокием (1974) и, на наш взгляд, определяются недостаточно строгой разработкой принципиальных и методологических основ решения этих вопросов. Автор предлагает для рассмотрения следующие аспекты этой терминологической проблемы.

1. Определение понятий "минерал" и "минеральный вид" не может производиться вне связи с определением более крупных и мелких по отношению к минеральному виду таксономических категорий в общей систематике минералов.

2. При подходе к минералогии как к науке о природных химических веществах и процессах их образования наиболее правильным представляется определять минерал как природное химическое соединение кристаллического строения. В этом смысле понятие "минерал" является отвлеченным.

Сужение понятия "минерал" А.С.Поваренных, А.Г.Бетехтиным и др. до круга только земных объектов или его расширение А.Г.Бетехтиным на газообразные, аморфные, жидкие природные вещества не принципиально, а отражает лишь принятую специалистом с той или иной целью условную границу понятия "минерал". В качестве недостаточных или неверных формулировок укажем определения минерала как составной части горной породы или как совокупности минеральных индивидов.

3. В соответствии с принятыми выше определением минерала и представлениями химии о природе химических веществ минеральный вид — это природное химическое соединение, характеризующееся специфическим составом (и пределами его вариации) и определенной кристаллической структурой. С точки зрения химии однотипные по структуре вещества, различающиеся хотя бы одним определяющим конституцию минерала химическим элементом, разные. Они относятся нами к самостоятельным видам (например, касситерит  $SnO_2$ , пиролюзит  $MnO_2$ , ферберит  $FeWO_4$  и гюбнерит  $MnWO_4$ ) независимо от их связи друг с другом явлениями изоморфизма.

Понятие "минеральный вид" отвлеченное, т.е. минеральный вид не может быть конкретно-предметной совокупностью индивидов этого вещества, как например  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ -пятиводная сернокислая медь не рассматривается в химии как полная совокупность индивидов этого вещества. Все индивиды минерала, относящегося к одному минеральному виду, однотипны по структуре и химическому составу.

3. Более низким по отношению к минеральному виду таксоном является разновидность. В основу выделения разновидностей положим химический и структурный признаки. Разновидности, выделяемые по физическим, кристалломорфологическим и другим свойствам минерала, отражают его побочные признаки, производные от его состава и структуры. Все они дают дополнительную характеристику минерала и поэтому должны рассматриваться особо.

Химическими разновидностями условимся называть минералы данного минерального вида, но отличающиеся некоторыми отклонениями состава. Среди минералов, связанных непрерывным изоморфизмом, выбор границы между минеральными видами и их разновидностями непринципиален. Его можно производить по-разному, но в одной и той же систематике он должен выполняться всегда по единому правилу. В своей работе Комиссия по новым минералам Международной минералогической ассоциации промежуточные по составу члены изоморфных рядов относит к разновидностям того минерального вида, к которому они более близки по составу. Например, минерал  $(A_{2,40} B_{0,30} C_{0,30}) XO_3$  относится к разновидности минерального вида  $AXO_3$ , минерал состава  $A(X_{0,60} Y_{0,40}) O_3$  — к этой же разновидности, а минерал  $(A_{0,40} B_{0,30} C_{0,30})(Y_{0,55} X_{0,45}) O_3$  — к разновидности  $AYO_3$ .

Структурными разновидностями назовем минералы данного минерального вида, но отличающиеся некоторыми особенностями их структуры. Это от-

носятся прежде всего к непрерывным рядам минералов с разной упорядоченностью распределения химических элементов в их кристаллической решетке. Крайние члены ряда упорядочивания, например микроклин и санидин, относятся к самостоятельным минеральным видам, а промежуточные - к разновидностям. Проблематичны здесь необходимость и способ учета типа упорядоченности структуры (например, моноклиной и триклиной - в калиево-натриевых полевых шпатах).

4. В пределах одной химической или структурной разновидности минералы могут различаться некоторыми дополнительными особенностями. Их следует отражать в названии минерала прилагательными, например: мало-железистый и железистый сфалерит, разупорядоченный и частично упорядоченный кодунбит - танталит и т.п. Предлагаемая в ряде работ категория "разность" (Поваренных, 1966; Лазаренко, Квитко, 1972; Григорьев, 1975), подчиненная по значимости категории "разновидность", на наш взгляд, не обязательна.

5. Среди таксонов и классификационных подразделений даже одной систематики положение минерала может изменяться из-за уточнения его структуры и состава. Кроме того, некоторые вещества могут быть исключены из мира минералов, другие - войти в него при расширении и модификации наших представлений о мере дискретности и характеристиках вещества, определяющих жидкое, кристаллическое, аморфное и газообразное состояние.

Важно подчеркнуть и следующие обстоятельства, иногда нарушающие строгость и последовательность предлагаемых различными авторами определений таксономических категорий минералогии и стройность классификационных схем. Во-первых, вслед за Д.П.Григорьевым (1975) отметим, что "наряду с преобладающими типичными объектами в минеральном мире, как и среди объектов других наук, имеются усложненные и сомнительные объекты". К числу первых отнесем аморфные продукты метамектизации минералов, самородную жидкую ртуть и т.п. Примером вторых может служить опал - закономерный и парагенный с другими минералами продукт естественных химических процессов. И те и другие, не являясь минералами (в нашей трактовке этого понятия), несомненно, относятся к обязательным объектам минералогии. Во-вторых, часть природных кристаллических соединений, т.е. минералов, издавна являются объектами исследования других наук. Таковы лед, условия генезиса и рост кристаллов которого, полиморфные модификации и свойства изучаются в грунтоведении, инженерной геологии и гляциологии, некоторые фосфаты и оксалаты - камни почек, исследуются в медицине и т.д.

## МИНЕРАЛЬНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ И МЕТОДИКА ИХ ВЫДЕЛЕНИЯ

В минералогии существует представление о минерале и минеральном виде. В связи с этим установлены критерии выделения границ объективно существующих в природе неорганических образований, которым свойственна физическая и химическая индивидуальность (Соболев, 1947).

Пользуясь понятием минерального вида, необходимо учитывать следующее. Во-первых, каждому минеральному виду можно поставить в соответствие синтезированное неорганическое соединение, обладающее тождественным составом и структурой. Однако вопреки представлениям о классификации минеральных видов как детали классификации неорганических соединений следует иметь в виду, что в конкретных физико-химических условиях земной коры происходит закономерный "отбор" неорганических соединений, результатом которого являются минералы. Именно фиксация минеральными видами (их составом, а иногда и структурой) определенных геологических процессов наполняет классификацию минеральных видов дополнительным содержанием, не всегда существенным с точки зрения неорганической химии, но важным для минералогии.

Во-вторых, минеральный вид не всегда является объектом прямого исследования. Представление о минеральном виде возникает в форме обобщения результатов изучения частных представителей вида. В конкретной генетической обстановке минеральный вид реализуется в зависимости от условий среды, в виде разновидности данного минерального вида. Из этого следует, что непосредственно в основном исследуются минеральные разновидности, а не сами виды, что придает определению понятия минеральной разновидности первостепенное значение.

Принципы рационального определения понятия минеральной разновидности сформулированы В.С.Соболевым (1947) и Д.П.Григорьевым (1961), которые предложили обозначать этим термином совокупность индивидов данного минерального вида, характеризующегося устойчиво повторяющимися особенностями химического состава и физических свойств. Практически это означает, что изучается природное образование, состав и свойства которого достаточно хорошо воспроизводятся в различных месторождениях, формациях при одинаковых условиях минералообразования.

Дискутируется вопрос о рациональной номенклатуре минералов, поднятый А.С.Поваренных. Однако обсуждаются в основном терминологические проблемы номенклатуры, которая должна представлять собой комплекс рациональной классификации объектов и их рациональной терминологии, а вопросы классификации объектов минералогии в известной степени остаются нерешенными, что ослабляет предметную основу создания рациональной системы наименований минералов.

Указанное выше определение минеральной разновидности не позволяет рассматривать известные предложения А.К.Болдырева (1926) и Г.Б.Бокия (1971) об однообразном априорном выделении разновидностей по химическому составу в совершенных изоморфных рядах границами: 0 - 25%; 25 - 75 и 75 - 100%. Подобное деление изоморфного ряда может не соответствовать максимумам встречаемости в природе отдельных членов данного изоморфного ряда. Еще более трудно, а иногда и невозможно использовать это предложение применительно к широко распространенным рядам ограниченного изоморфизма (например, для выделения границ зейригита в шеллите, кобальтистой разновидности в кальците и пр.).

Оправданное проведение границ между разновидностями не всегда возможно на основе уже имеющегося минералогического материала. Во многих случаях создание рациональной номенклатуры разновидностей изоморфного ряда может потребовать проведения трудоемких специальных исследований.

Как следует из определения понятия минеральной разновидности, работа по восстановлению естественных границ между разновидностями должна основываться на изучении устойчивой повторяемости особенностей химического состава и физических свойств на отдельных участках изоморфных рядов. Обзор литературы по данному вопросу и собственные исследования авторов позволяют полагать, что основными критериями при установлении границ между минеральными разновидностями должны быть следующие.

1. Устойчивость основной характеристики химического состава. Имеется в виду, что отдельные участки изоморфного ряда реализуются в природе с различной частотой встречаемости. Максимумы встречаемости определенных диапазонов состава могут свидетельствовать о реальном существовании соответствующих разновидностей. Аналогично минимумы встречаемости могут определять положение границ между разновидностями.

Примером использования этого критерия является выделение разновидностей в ряду андрадит - гроссуляр (андрадит, аплом, гроссуляр), выполненное А.П.Грудевым (1964) и Н.В.Соболевым (1964) на основании сотен полных химических анализов (см. рис.1). Как видим, отдельные максимумы встречаемости в данном ряду разделяются минимумами в интервалах железистости 30 - 40% и 60 - 70%, являющимися естественными границами между названными разновидностями. При этом во многих случаях исследованиями изоморфных рядов такую границу не удастся указать точнее. Кроме того, граница между разновидностями может в некоторых пределах смешаться, реагируя на различные условия минералообразования.

В качестве причин устойчивой реализации отдельных участков рядов и в виде основы для выделения разновидностей могут быть указаны два явления. С одной стороны, типичный набор физико-химических параметров, описывающих среду, может результироваться в виде также достаточно устойчивых коэффициентов распределения компонентов между одновременно возникающими минералами и средой минералообразования. Следовательно, могут

возникнуть минералы — члены изоморфных рядов с достаточно устойчивым положением на оси состава этих рядов. Достаточно упомянуть о марматите, о кобальтистом кальците и пр.

С другой стороны, кристаллическая решетка минерала не для всех участков изоморфного ряда одинаково устойчива. Иногда при равенстве количества атомов крайних членов бинарных рядов могут возникнуть относительно упорядоченные сверхструктуры, характеризующиеся максимумом устойчивости. Это может быть причиной сравнительной устойчивости членов ря-

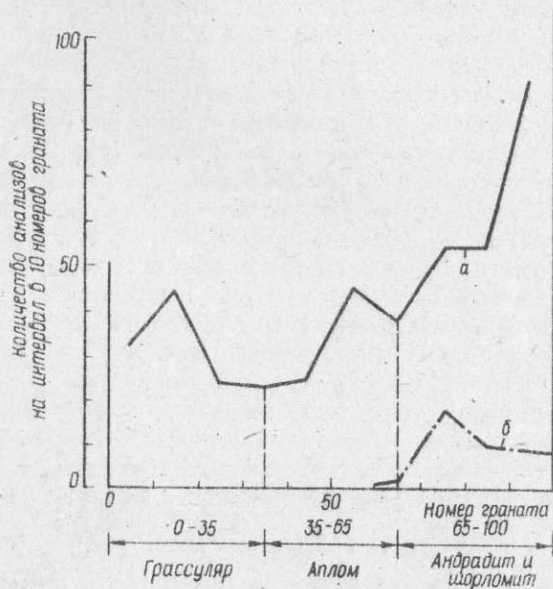


Рис.1. Частота встречаемости гранатов ряда гроссуляр — андрадит (преимущественно из контактово-метасоматических и близких к ним ассоциаций): а — общая закономерность; б — высокотитанистые гранаты.

дов в области, примыкающей к экваторной (Макаров, 1973). В этой связи следует указать на частично реализуемый в природе ряд золото — медь, где в экваторной области находится максимум электропроводности, свидетельствующий об образовании сверхструктуры (Км-Розери, 1950). Можно рассмотреть также аплом — промежуточную разновидность в ряду андрадит — гроссуляр, где локальный максимум встречаемости приурочен именно к экваторной области состава. Термодинамические аспекты этого явления должны привлекать к себе пристальное внимание.



2. Приуроченность минеральных разновидностей к определенным пространственным и генетическим единицам в конкретных геологических образованиях. В близких по условиям минералообразования метасоматических зонах, или типах руд, или генерациях одного и того же минерала вероятно выделение минерала в форме разновидности с близким составом в различных геологических образованиях (месторождениях, жилах и др.). Такая приуроченность на конкретном геологическом материале расширярует выявляемые в соответствии с п.1 статистические закономерности.

Примером в данном случае является плагиоклазы, состав которых для отдельных типов глобально распространенных горных пород укладывается в достаточно жесткие рамки независимо от местонахождения.

3. Характерные черты зависимости содержания элементов-примесей от соотношения миналов изоморфного ряда. При постепенном изменении соотношения миналов в составе минерала его кристаллическая решетка может плавно, а иногда и скачкообразно изменяться (искажаться координационные полиэдры, изменяться тип связи и др.), что может отражаться в характере поглощения элементов-примесей. Отмеченным выше экваторным и близким к ним членам изоморфных рядов свойственна повышенная сопротивляемость вхождению в их состав элементов-примесей.

Рассмотренный пример иллюстрируется снижением количества гернезитовой составляющей (рис. 2) в экваторной области ряда эритрин - аннабергит, находящейся в рамках разновидности (Ихонтова, 1960). Другим примером является определенное снижение пироповой, алмандиновой и спессартиновой составляющих в минералах ряда андрадит - гроссуляр, также приходящееся на экваторную область, отвечающую промежуточной разновидности ряда - аплому (Грудев, 1975<sub>1</sub>; 1975<sub>2</sub>; 1976).

4. Характерные черты зависимости рентгеновских характеристик и оптических свойств от соотношения миналов изоморфного ряда. На кривых названных зависимостей могут существовать характерные точки и интервалы (экстремумы, резкие изгибы и т.д.), фиксирующие определенные разновидности и границы между ними.

Примером могут быть результаты исследования плагиоклазов (Изох, Казицын, 1959). В противоположность широко распространенным представлениям о плагиоклазах как об идеальном ряде твердых растворов рентгеноструктурные и кристаллооптические данные позволили установить скачкообразные переходы при изменении номера плагиоклаза и в соответствии с этим выделить следующие структурные типы:

- 1) альбитовый тип (№ 0 - 35) - область истинного изоморфизма (№ 0 - 5); область несмесимости (перистериты) (№ 5 - 17); область истинного изоморфизма (№ 17 - 35);
- 2) промежуточный тип - чередование слоев альбитовой и анортитовой структуры (№ 30 - 70);

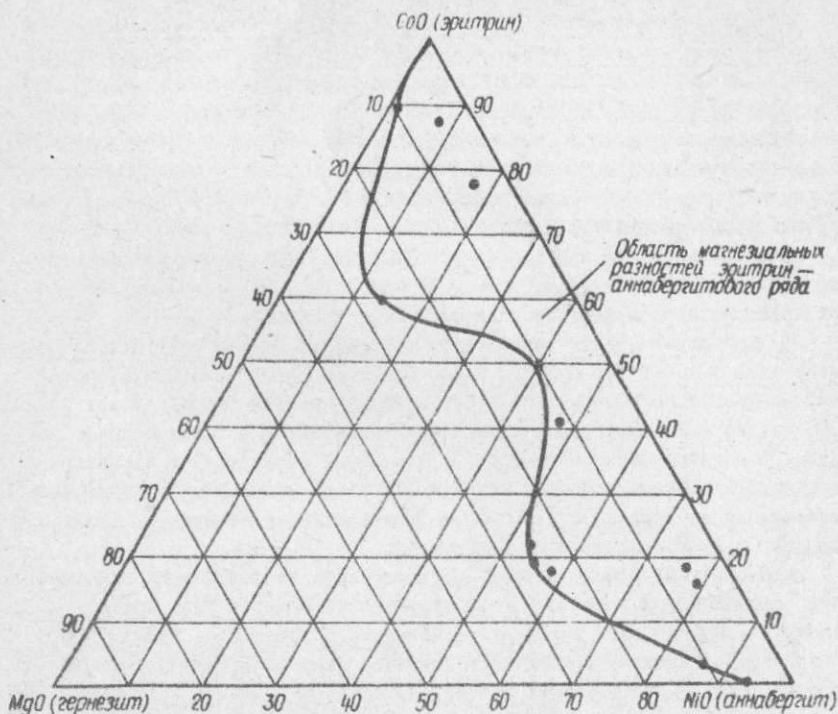


Рис.2. Содержание гернезитового минала в серии эритрин - аннабергит.

3) анортитовый тип - область истинного изоморфизма (% 70 - 100); объемно-центрированная ячейка (% выше 70); примитивная ячейка (% ниже 100).

Наличие выделенных структурных типов (минеральных разновидностей) получило дополнительное обоснование материалами изучения зависимости среднего светопреломления плагиоклазов от их номера выраженной уравнением  $n_{cp} = 0,00051 \cdot N^2 + 1,5322$  (Марфуни, 1959).

Авторы статьи на основании указанных данных продолжили эти расчеты (рис. 3), которые показывают, что отмеченная зависимость в первом приближении действительно прямолинейна, но при более внимательном изучении распадается на три сочлененных прямолинейных отрезка, несколько различающихся уклонами. Границы между отрезками проходят приблизительно в диапазонах номеров плагиоклазов  $30 \pm 5$  и  $70 \pm 5$ , т.е. практически не отличаются от указанных выше границ между тремя структурными типами.

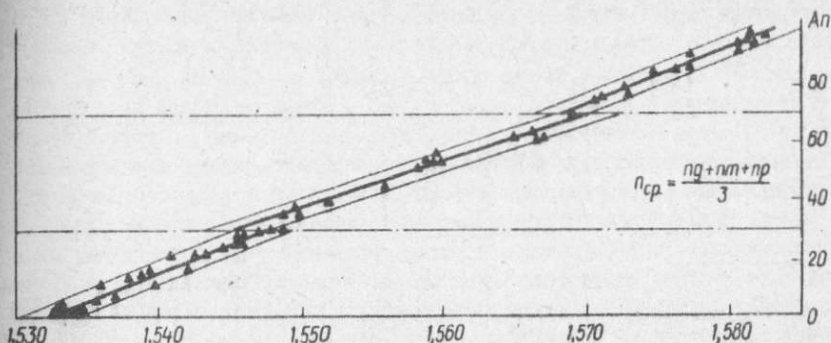


Рис.3. Взаимосвязь среднего светопреломления и номера плагиоклаза: 1 - главные тенденции для отдельных структурных типов; 2 - доверительные интервалы при уровне значимости 0,05.

Для каждого из прямолинейных отрезков можно рассчитать уравнение зависимости среднего светопреломления от номера плагиоклаза и вычислить предельную погрешность определения номера по среднему светопреломлению при уровне значимости 0,05. Эти уравнения таковы:

1) для альбитового типа:

$$N^{\circ} = 2003,96 \cdot n_{cp} - 3071,19$$

$$\tau_{пред} = \pm 4,0$$

2) для промежуточного типа:

$$N^{\circ} = 1606,69 \cdot n_{cp} - 2452,78$$

$$\tau_{пред} = \pm 3,6$$

3) для анортитового типа:

$$N^{\circ} = 1922,80 \cdot n_{cp} - 2945,21$$

$$\tau_{пред} = \pm 3,6$$

В то же время предельная погрешность уравнения А.С.Марфунина не ниже  $\pm 4,5\%$ , а это свидетельствует о том, что разбиение интервала составов на три части более точно выражает зависимость среднего светопреломления от номера плагиоклаза, чем единая прямая зависимость.

Б. Реализация разновидностей в виде характерных морфологических разновидностей. Имеется много примеров, показывающих, что разновидности, выделенные по принципу устойчивости химического состава, характеризуются и достаточно специфической морфологией индивидов. Обращаясь к ранее за-

тронутому ряду эритрин – аннабергит, можно отметить характерные сферолитоподобные образования у аннабергитовой разновидности, отмечаемые в природном материале и хорошо воспроизводимые в процессе синтеза. Для ряда андрадит – грессуляр показательная реализация редкой простой формы (100) лишь в интервале состава, отвечающего аплому. С другой стороны, тетрагонтриоктаэдр граната из Дашкесанского месторождения имеют андрадитовый состав (Барсанов, 1953).

6. Наличие характерных аномалий физических свойств для отдельных разновидностей. Это может вызываться определенными особенностями химического состава и кристаллической решетки данной разновидности и специфическими условиями минералообразования. Например, в результате исследования граната Турьинских месторождений (минерала теоретически изотропного) отмечено аномальное двупреломление в достаточно узком (апломовом) интервале состава (Коржинский, 1948).

Перечисленные критерии выделения минеральных разновидностей в каждом отдельном случае должны всесторонне рассматриваться на основе лабораторных и полевых исследований; в противном случае подход к этому вопросу лишается комплексности, вследствие чего расширяется возможность проявления элементов предвзятости в ущерб всесторонней обоснованности.

Существенно дополняют рассмотренные направления исследований физико-химические характеристики соответствующих природных и синтетических неорганических систем. Имеется в виду использование диаграмм состояния. С другой стороны, важную информацию относительно энергетических характеристик явлений изоморфизма для отдельных участков изоморфных рядов получают при расчете различных термодинамических функций смещения, когда для такого расчета имеются необходимые исходные данные. Созданию теоретической базы в вопросе о выделении отдельных разновидностей в природных изоморфных рядах в значительной мере способствуют специальные рентгеновские исследования и расчеты соответствующих термодинамических функций, относящиеся к явлениям упорядоченности – разупорядоченности атомов в кристаллических решетках твердых растворов.

В заключение отметим, что обоснованное выделение границ между минеральными разновидностями возможно только на основе специальной работы. Если отсутствуют фактические данные для рассмотрения хотя бы одного из перечисленных выше аспектов, то корректное решение задачи маловероятно.

Поскольку в номенклатуре минеральных разновидностей существует большое количество излишних терминов (здесь положение хуже, чем в номенклатуре минеральных видов), необходимо, чтобы Комиссия по новым минералам при выделении и разграничении минеральных разновидностей была столь же требовательной, как и в вопросе о признании новых минеральных видов.

О НЕОБХОДИМОСТИ УТОЧНЕНИЯ ПОНЯТИЯ "МИНЕРАЛ"  
И НОМЕНКЛАТУРЫ ИЗОМОРФНО СЛОЖНЫХ МИНЕРАЛОВ  
С УЧЕТОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Постоянное расширение информации о составе и строении минералов создает естественную необходимость дополнения и корректуры общепринятых понятий с целью их упорядочения, объединения старых и новых сведений.

В крупнейших отечественных и зарубежных монографиях, определителях и учебниках В.М.Севергина (1765-1826), В.И.Вернадского (1908), Е.С.Дена (1932), А.К.Болдырева (1938) и др., освещено около 4000 различных минеральных индивидов.

Работы русских академиков Д.И.Менделеева, Е.С.Федорова, В.И.Вернадского, Е.А.Ферсмана и зарубежных минералогов Э.Митчерлиха, Г.Чермака и др. определили внедрение в минералогию структурных, геохимических и генетических показателей, заложивших основы современной минералогической науки и закономерной сложноразветвленной схемы минералогической классификации.

За последние 40 лет работами А.Г.Бетехтина, Д.П.Григорьева, В.С.Соболева, Е.К.Лазаренко, Н.В.Белова, Ф.В.Чухрова, И.И.Шафрановского, Г.П.Барсанова, Д.П.Сердюченко, П.Рамдора, Г.Штрунца, Р.Г.Робертсона, И.Костова и др. минералогическая наука поднята на высший уровень, а перечень минералов увеличился до 5000. Однако выявленное многообразие их морфологии, химического и кристаллического строения резко расширило число разновидностей. Их особенности, генетическая и пространственная разобщенность, иногда индивидуализированность, а также перспективы использования как поисковых критериев придает многим из них особое самостоятельное значение при решении народнохозяйственных задач. Поэтому необходимо упорядочить понятие "минерал" и номенклатуру изоморфно сложных минералов.

Фактически "чистых" минералов (состав которых соответствует простым формулам) почти нет. Состав большинства из них достаточно сложный из-за наличия разных изоморфных примесей. Эта естественная сложность химического состава минеральных "индивидов" противоречит главному классификационному признаку выделения минералов - их химической индивидуализированности.

В "Курсе минералогии" Е.К.Лазаренко (1970) под термином "минерал" понимает "продукты природных процессов, физически и химически индивидуализированные в виде простых элементов или соединений, которые образуют минеральные виды". И.Костов (1968, Лондон) в "Минералогии" считает, что "минерал представляет собой природную гомогенную составную часть земной коры, обладающую определенным химическим составом и кристаллической структурой и устойчивую в некоторых физико-химических пределах".

Лазерные исследования зональности отдельных кристаллов и зерен, а также большое число химических анализов мономинеральных фракций выявили химическую сложность, скачкообразность или постепенность изменения состава минеральных индивидов.

Иногда встречалось более 30 разновидностей магнетитов магматического, метаморфического, контактово-метасоматического, гидротермального происхождения. Особенное разнообразие их фиксируется при сравнении разных стадий минерализации Тейского, Абаканского, Тельбесского, Сухаринского, Тагарского и других месторождений (Белюс, 1948-1968). Особенно ярко различие состава магнетитов разных возрастов наблюдается на Тагарском месторождении, где фиксируются чистый магнетит, титаномagnetит, ильменит, магномагнетит и серия минералов промежуточного состава (Баулина, 1977; Мамджи, 1976). Разнообразны минералы из групп гидроокислов и окислов (глинозема, железа, марганца), хлоритов из месторождений Западно-Сибирской, Азово-Черноморской и других рудных провинций. Общеизвестна сложность многих других силикатов, карбонатов и даже такого простого минерала, как флюорит (в Ирбинском месторождении он белый, чистый, из Абагайтуйа и Клички - светло-окрашенный с малым количеством примесей, из Карасука и Волни - темно-фиолетовый, богатый редкими элементами).

Выявленное разнообразие минералов значительно, а существующая номенклатура уже не отображает всей генетической сложности и многофазности их формирования в разных физико-химических условиях различных месторождений. Нам представляется необходимым уточнить понятие "минерал" как "гомогенный продукт природных процессов, обладающий слабоизменчивым химическим составом и кристаллической структурой, образующий минеральные индивиды, полиморфные и другие разновидности на земле, в земле или в космосе, возникающие в определенных физико-химических пределах".

Эта проблема неоднократно поднималась многими минералогами. Большую работу в стремлении ввести "меру и вес" (как важнейшие показатели) в минералогические исследования проводит и показывает в своих работах Е.К.Лазаренко.

Целесообразность упорядочения номенклатуры имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение, поскольку наличие значительных примесей часто изменяет технологию использования минералов в промышленности или превращает их в ценное комплексное сырье.

Однако единые жесткие теоретические критерии такого расчленения не общеприняты. При полной и неполной изоморфной смешимости минералов эти подходы к номенклатуре различны.

1. В группах минералов с полной изоморфной смешимостью признак химической индивидуализации минерала давно не играет своей классификационной роли. Номенклатура таких минералов в группах производится в соответствии с равномерным условным расчленением изоморфного ряда по процентному содержанию главных компонентов в индивидах (при соответствующем изменении свойств). Этот принцип, показавший большую теоретиче-

скую и практическую эффективность при расчленении плагиоклазов и некоторых других минералов, не всегда выдерживается и внедряется для расчленения и номенклатуры всех изоморфных минеральных групп.

Многое в этом направлении сделано И.Костовым, выделившим и описавшим в своей сводной работе ряд изоморфных групп минералов (хотя и без особого рассмотрения их взаимоотношений и генетической локализации). Несмотря на уже сделанное, можно сказать, что "показатель равномерности" изменения состава минералов при номенклатуре изоморфных смесей еще применяется мало, хотя эта возможность уже назрела в связи с накоплением большого числа химических анализов, глубокого пересмотра и обобщения минералогических данных.

Внедрение "показателя равномерности" изменения состава минералов как правила при исправлении номенклатуры открывает широкие перспективы для упорядочения названий, выделения новых минералов и уточнения взаимосвязи их с определенными геохимическими и генетическими параметрами.

Для каждого члена изоморфного ряда могут быть уточнены преимущественные коэффициенты парной корреляции элементов, типичные для определенных физико-химических условий их образования, геологических процессов и позиций.

2. В группах минералов, имеющих неполную изоморфную смешимость веществ (изовалентные, гетеровалентные или полярно-изоморфные примеси), современное расчленение и номенклатуру нельзя произвести по определенным правилам и ограничениям, а отображают исторически сложившиеся уровни познания и в значительной мере авторитет первооткрывателей минералов.

Для уточнения номенклатуры таких минералов нами предлагаются ограничения (в виде рубежных промежуточных содержаний (РПС)), основанные на кларках (К) и коэффициентах концентрации элементов (КК), которые можно вычислить для каждого минерала как частное от деления содержания элемента в минерале (С) на его К:

$$КК = \frac{С}{К}$$

Использование кларков и коэффициентов концентрации для номенклатуры имеет геологический смысл, поскольку последние могут рассматриваться как показатели геологической работы, затраченной на дифференциацию и концентрацию вещества из его рассеянного состояния в магме, породах с учетом путей миграции. Так как уровни геологических работ в новообразованных минералах зависят от первичной концентрации веществ в материнской среде, то их необходимо устанавливать с учетом значимости кларков, хотя бы на уровне декад кларков, выделенных В.И.Вернадским.

Основываясь на этом, к главному ("чистому") минералу можно относить индивиды с небольшими РПС примесей:

элементов, обладающих меньшим кларком - в докларковых количествах (РПС < 1 К);

элементов, обладающих большим кларком - в содержаниях, соответствующих минимальному коэффициенту концентрации одного из важнейших элементов в соединении или даже в долях кларка для элементов I и II декад (рубежные содержания) (РС) менее 0,1-0,01 К или  $K \cdot KK_{min}$ ).

Такое изменение теоретического подхода к определению РС примесей редких и распространенных элементов в "чистых" минералах рекомендуется с учетом принципиально разного хода дифференциации вещества в окрестностях кристаллизующегося индивида: физико-химически родственные элементы попадают в решетку минерала в одном "потоке" с главным элементом, а распространенные в среде элементы I и II декад испытывают обратную дифференциацию - выталкиваются вместе с материнской средой из кристаллизующегося новообразования (например, *O, Al, Si* и др.).

Для выделения разновидностей минералов и номенклатуры изоморфно сложных индивидов (имеющих содержание элементов-примесей выше ранее упомянутых рубежных) рекомендуется устанавливать РПС пропорционально величине кларков и разным уровням КК и К с учетом генетических, геохимических особенностей минерала, окружающей среды и современного уровня научно-технического прогресса, определяющего особое промышленное значение соответствующих номенклатурных единиц.

Исходя из этих позиций, для выделения номенклатурных единиц сложных минералов предлагается закреплять 3-4-5 уровней (в зависимости от геологических или практических потребностей) РПС и соответственно присвоить разновидностям минералов постоянные окончания в названиях, отображающие уровни заражения их примесями. Например, германиеносный магнетит, германистый ..., германиевый ..., германомagnetит, германий-магнетит.

Значение РПС рекомендуется выбрать на следующих уровнях КК элементов для:

I декады: уровни: I - 0,01 - 0,1 К; II - до 0,3 К; III - до 0,5 К;

II декады: уровни: I - 0,1 - 0,3 К; II - до 0,5 К; III - до 1 К;  
IV - до 2 К;

III декады: уровни: I - 0,5 - 4 К; II - до 8 К; III - до 12 К;  
IV - до 16 К;

IV декады: уровни: I - 1 - 10 К; II - до 20 К; III - до 30 К; IV - до 40 К; V - более 40;

V и VI декады: уровни: I - 1 - 50 К; II - до 100 К; III - до 200 К;  
IV - до 300 К; V - более 300;

VII декады и более высоких декад: уровни: I - 1 - 100 К; II - до 1000 К; III - до 50 000 К и более.

Эти значения могут корректироваться в зависимости от уровня концентрации элемента в минерале, перспективности комплексного извлечения его из сырья или роли в технологии переработки. Например, в магнетите важно выделять разновидности:



1) с алюминием и магнием, которые повышают температуры плавления руды и требуют особых добавок в шихту;

2) с титаном, ванадием, никелем, марганцем, которые содействуют лагированию металла или являются важным комплексным сырьем;

3) с германием, представляющие интерес как германиевое сырье.

Введение в минералогическую науку новых показателей кларков, коэффициентов концентрации, рубежных содержаний элементов расширяет возможности минералогии.

Расчленение сложных минералов и уточнение их номенклатуры и номенклатуры разновидностей следует считать работой первостепенной важности на пути развития минералогической науки.

В теоретическом аспекте применение этих показателей для более точной номенклатуры минералов позволит расширить количество и увеличить точность выделения новых минералов и разновидностей в геологических процессах. Например, группа магнетита разделится более чем на 30 разновидностей, имеющих важное генетическое и промышленное значение.

С точки зрения генетики это открывает возможности значительного уточнения парагенезисов минералов и условий образования их на различных стадиях формирования сложных рудоносных полей при уточнении их положения в земной коре.

Улучшение номенклатуры минералов вызовет повышение научного уровня исследования месторождений, увеличит точность работы, будет содействовать уточнению схем формирования рудных полей. Например, на таких месторождениях, как Тейское, Абаканское, Тагарское, Коршуновское и другие, уже выделяют не 3-4, а 10-12 стадий формирования рудного поля.

В поисково-разведочном аспекте оно позволит выделить ряд разновидностей минералов как новых поисковых признаков и критериев, облегчающих поиски, например, титанового, германиевого или другого сырья.

В экономическом отношении расчленение сложных минералов значительно расширит сырьевую базу комплексных руд, особенно малых и редких элементов, что будет содействовать усилению комплексного использования ресурсов в целях охраны недр и удешевления промышленной продукции.

В технологическом аспекте выделение соответствующих разновидностей поможет проектным организациям в подборе более точной технологии для переработки сырья на стадии проектирования предприятий и резко сократит пусконаладочные периоды в работе новых заводов и цехов. Например: при подборе шахты для плавки магнетитовых руд с разными примесями магния и технологии извлечения ванадия, титана, никеля и других элементов из соответствующих руд.

Уточнение состава минералов и номенклатуры их — одна из важных и перспективных задач развития минералогической науки.

ЗНАЧЕНИЕ ПОНЯТИЯ "ПОЛИМОРФНАЯ МОДИФИКАЦИЯ"  
 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОНЯТИЙ "МИНЕРАЛЬНЫЙ ВИД", "МИНЕРАЛ" И ДР.

Для определения понятия "минеральный вид", "минерал", "индивид" и т.д. важно использование понятия "полиморфная модификация". Это и только это понятие — "полиморфная разновидность", предполагает качественную тождественность объекта самому себе в границах существования. Поэтому все понятия, предполагающие сохранение объекта самому себе, должны опираться на понятие "полиморфная модификация". Ниже приводятся некоторые соображения о понятии "минеральный вид", опубликованные совместно с Н. В. Беловым в сборнике "История и методология естественных наук", 1974.

С основными понятиями кристаллохимии тесно связано собирательное понятие, объединяющее родственные индивиды, — вид вещества, в частности минерала. Отдельный индивид будет родственным самому себе, пока не претерпит полиморфное превращение или разложение, которое свидетельствует о качественном изменении вещества. При этом полиморфное превращение может быть не связано с изменением кристаллической структуры. Так, две модификации, отличающиеся магнитными свойствами, могут не отличаться по структуре (один и тот же структурный тип). Одной и той же модификации может соответствовать одна политипная структура или серия их. Две разные полиморфные модификации могут иметь один и тот же тип структуры (Сс). Аморфная полиморфная разновидность структуры не имеет.

Из сказанного следует, во-первых, что принадлежность индивидов к одному структурному типу не всегда определяет родство. Это необходимо подтвердить другими физико-химическими методами, более чувствительными к состоянию вещества. Во-вторых, во всех случаях нельзя относить к одному виду вещества, отличающиеся типом чередования слоев. Если поли типы — разные фазы, то тогда они — разные виды. Если к одной фазе относится серия поли типов с разной структурой, то это ряд индивидов, относящихся к одному и тому же виду вещества. В результате изоморфных замещений, а также при статистическом вычитании атомов или внедрении в ранее частично заполненные позиции образующиеся индивиды будут отличаться от исходного химическим составом (качественно или количественно). Их можно относить к одному и тому же виду до тех пор, пока не будет полиморфного перехода или образования нового вещества. Заполнение новых положений в структуре, ранее не занятых, будет приводить к появлению нового вида. Если при образовании твердых растворов любого типа, постепенно усиливаясь от индивида к индивиду, возникает упорядочение ( $Cu_2Au_1 \rightarrow Cu_3Au$ ) или в результате удалений, замещения мы, наконец, приходим к крайней точке, т.е. к индивиду, который не включает атомов исходного индивида ( $Fe_2SiO_4$  и  $Mg_2SiO_4$ ; роговая и базальтическая

обманка), крайние члены не относятся к одной и той же полиморфной модификации. При отсутствии непрерывного перехода о  $Mg_2SiO_4$  и  $Fe_2SiO_4$ ,  $Cu_2$ ,  $Au_1$  и  $Cu_1Au_1$ , роговой и базальтической обманках следует говорить как об индивидах, относящихся к разным видам. Во всех случаях имеется возникшее в результате постепенного количественного существенное качественное изменение. В живых организмах возникновение нового вида происходит постепенно, поэтому границу провести сложно. Можно считать, что в этих случаях имеет место образование разновидностей с компетенцией нового вида. Вероятно, исследование свойств в серии индивидов обнаружит экстремальные точки. Поэтому крайние индивиды относятся к разным видам. При этом виды, между которыми возможны непрерывные переходы, можно объединить в роды, т.е. более крупные классификационные единицы. Под разновидностью следует понимать твердый раствор в границах полиморфной модификации, который в пределе образовал бы новый вид. В частности, это твердые растворы замещения, отличающиеся набором элементов. Например, (А, В) — одна разновидность, а (А, С) — другая. Разность — участок разновидности.

Итак, принимая всеобщность полиморфизма В.И.Вернадского, под видом вещества будем понимать вещество и совокупность всех видов твердых растворов на его основе в границах существования их как одной полиморфной модификации. Вещество может находиться в твердом, жидком, газообразном состоянии. Минеральные виды — это виды веществ, существующие в природе. Нефть, воздух, как и породы, — полиминералы (нескольких видов), вода — мономинеральный вид.

В.И.Павлишин

О СУЩНОСТИ ТИПОМОРФИЗМА МИНЕРАЛОВ  
(ИСТОРИЯ, ЗАДАЧИ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЙ И КЛАССИФИКАЦИЯ  
ТИПОМОРФНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МИНЕРАЛОВ)

Минералогия — наука естественноисторическая. Ее главное назначение — решение генетических проблем геологии, связанных с историей формирования горных пород и месторождений полезных ископаемых. Эти проблемы логически вытекают из сущности пород и руд, составные неделимые части которых представлены минералами — носителями генетической информации и тех полезных свойств или элементов, которые необходимы для практического использования. Минерал выступает "...как важный геологический документ, без которого не может быть восстановлена история Земли и поняты процессы, происходящие в ней" [11, стр.124].

Существуют разные методы и подходы изучения минералов с целью получения генетической информации. Приводим главные из них:

1. Наблюдение в природе — начало начал всех минералогических исследований, дающее возможность визуально фиксировать форму минераль-

ных тел (жила, кристалл, зерно и др.), морфологические взаимоотношения и распределение минералов в пространстве.

2. Парагенетический анализ - позволяет выделять близкие по условиям образования ассоциации минералов, а также судить об этих условиях качественно или количественно.

3. Экспериментальный метод - дает возможность с определенной долей правдоподобия моделировать в лаборатории природные процессы минералообразования.

4. Термобарометрический метод - дает возможность по включениям минералообразующей среды наиболее объективно из всех используемых методов определить физико-химические параметры образования минеральных индивидов.

5. Онтогенетический метод - позволяет реконструировать историю минеральных индивидов и агрегатов: их зарождение, рост и изменение.

6. Типоморфный анализ - позволяет устанавливать условия образования минеральных комплексов на основе информации по типоморфизму минералов.

Теоретической основой типоморфного анализа является учение о типоморфизме минералов, основанное на фундаментальном законе минералогии (закон минералогенетического резонанса по Н.И.Дикину [33]), который в кратком изложении гласит (наша формулировка): физико-химические параметры среды минералообразования зафиксированы в ее продуктах - минералах, и отражены в их конституции, морфологии и свойствах. "Иными словами, - отмечает Д.П.Григорьев, - генезис каждого исследуемого минерала "записывается" на самом исследуемом объекте, и изучение генезиса минерала поэтому основывается на установлении различных его качеств [7, стр.57].

Кратко проанализируем основные этапы развития минералогии, акцентируя внимание на идеях и направлениях, с которыми связаны истоки типоморфизма минералов.

В античный период знания о немногочисленных тогда известных человеку минералах носили в основном наивный характер. Так, для греков ведущим фактором окаменения был холод, превращавший чистую воду в горный хрусталь. В книге "О камнях" Тиртамоса (Геофраста) - наиболее подробном античном сочинении о минералах - по поводу образования минералов отмечается, что вода дает начало металлам, а земля - камням. На более прогрессивных позициях о водном происхождении минералов стоял Ал-Бируни, который высказал обогнавшую столетия мысль о том, что включения в минералах - бесспорное доказательство их рождения из водной среды [1, стр.39]: "Все прозрачные минералы в основе своей - текучие жидкости, которые окаменели. На это тебе указывает наличие в них инородных примесей вроде пузырьков воздуха, капель воды, листьев растений, кусочков дерева". Приведенная цитата, по-видимому, - первое науч-

ное заключение о генезисе минералов, которое сегодня интерпретируется как типоморфный признак образования минералов из горячих растворов. К сожалению, эта идея Ал-Бируни не получила дальнейшего развития в работах более поздних ученых Востока и лишь в XVI-XVII ст. в сочинениях Георгия Бауэра и Рене Декарта образование минералов связывается с подземными водами и материалами, вынесенными из глубин Земли.

Идея образования минералов из воды в эпоху средневековья под влиянием церковного учения о всемирном потопе оформилась в универсальную теорию (нептунистическое направление), встретившую сильное сопротивление со стороны приверженцев теории плутонизма. Результаты этой борьбы в более позднее время (новейшая история) благоприятствовали развитию теории гидротермального и магматогенного минералообразования [21].

Рубеж XVIII-XIX ст. в связи с интенсивным развитием горного дела ознаменовался дифференциацией минералогии и утверждением в ней химического направления (работы А.Кронштадта, И.Р.Блюма, П.В.Времеева, И.Я.Берцелиуса и др.). Последнее в значительной мере определило развитие представлений о генезисе минералов, склоняя их в сторону парагенезиса ("смежности" по В.М.Севергину), что было подытожено в вышедшей в 1849 г. книге А.Брейтгаупта "Die Paragenesis der Mineralien", сыгравшей важную роль в рождении понятия "типоморфный минерал" и развитии прикладного аспекта типоморфизма. В это же время в России бурно развивается кристалломорфологическое направление в минералогии, яркой иллюстрацией которого является одиннадцатитомный труд Н.И.Кокшарова "Материалы для минералогии России" (1853-1892), содержащий также много сведений по химизму и другим особенностям минералов. В данном обзоре эта работа занимает особое место, поскольку ей заложены основы морфологического аспекта типоморфизма минералов. Рассматриваемый период времени примечателен также началом развертывания регионально-минералогических исследований<sup>\*</sup>, без которых немислимо возникновение типоморфизма минералов.

В начале XX ст., когда генетическое направление в минералогии развивалось совместно с петрографией и постепенно становилось на путь точной физико-химической основы, наиболее существенные успехи в создании рассматриваемого учения связаны, пожалуй, с именем талантливого минералога Ф.Бекке, который и ввел в геологическую литературу термин<sup>\*\*</sup> "типоморфный" (Веске, 1903). Он установил изменение (глубинные зоны Бекке) минерального состава земной коры и предложил называть типоморфными компоненты (имеются в виду, вероятно, минералы) горных пород, типичные для данного состояния. Позже благодаря работам Г.Шнейдерхена

\* Первая сводка по минералогии России издана В.М.Севергиным в 1809 г.

\*\* В современной минералогической литературе авторство этого термина иногда ошибочно приписывается У.Грубенману и П.Ниггли (1924). Первый из этих авторов употреблял данный термин, начиная с 1904 г.

[31], У.Грубенмана и П.Нигги [38], А.К.Болдырева понятие "типоморфный минерал" закрепилось в минералогии и петрографии. В это же время минералогия, используя рентгеновский метод, постепенно перестраивается с химической на кристаллохимическую основу. Теперь минерал рассматривается "в единстве и взаимосвязанности его состава и строения" [18, стр. 241], что наряду с термодинамической теорией фазовых равновесий [Дж.У.Гиббс] явилось основой для развития представлений об изоморфизме, полиморфизме, устойчивости минералов и изменении их конструкции в зависимости от условий образования, т.е. всем тем, что необходимо было для обработки на новом уровне понятия "типоморфный минерал" и образования других понятий. Все чаще кристаллохимические различия минералов стали объяснять генетически, взаимообогащая оба эти направления, которые впоследствии стали генеральными направлениями минералогии [12].

Следующий этап развития минералогии, обычно именуемый реформаторским [10], связан с именем В.И.Вернадского. Подчеркивая актуальность исследования минералов, он особое внимание обращал на их историю (генезис): минералогия "...имеет задачей изучение как продуктов природных химических процессов, так и самих процессов" [3, стр.13]. В.И.Вернадский обобщил и систематизировал разрозненные природные и экспериментальные генетического толкования данные и на этой основе с учетом химической конституции минералов создал в минералогии самостоятельный раздел - генетическую минералогию.

Если во времена В.И.Вернадского и раньше минерал под влиянием рудного дела рассматривался преимущественно как химическое соединение, представляющее собой полезное ископаемое (руды) определенных, соответствующих его составу химических элементов, то в более позднее время, как это отметил Д.П.Григорьев [6], в минералогии усилилось внимание (на этот раз под влиянием оптической, радиотехнической и других видов промышленности, использующих неорганические материалы) к минералам, которые благодаря своим свойствам (пропускать и генерировать лучи, пьезооптическим изоляционным и др.) находят применение полностью без разрушения. Требования практики способствовали всестороннему исследованию минералов как индивидов, установлению в них различного рода взаимосвязей (в том числе полезных свойств - от кристаллохимических параметров и морфологии) и в итоге выявлению зависимости состава, строения и свойств от условий образования. Этот принципиально новый подход к минералу, с одной стороны, благоприятно отразился на развитии понятия "минеральный индивид", расширив наши представления о реальной конституции данных объектов минералогии и, с другой - создал предпосылки для рождения нового понятия - "типоморфные особенности минерала", охватывающего связи конституционных и других особенностей минералов с условиями образования.

Суммируя изложенное выше, можно сделать вывод, что главными источниками типоморфизма минералов были учение о кристаллогенезисе, понятия

о минеральном виде и их парагенезисах, а также понятие о минеральном индивидуиде, в процессе обработки которых в период становления генетической минералогии отпочковывались новые понятия, органически слившиеся в новое учение — типоморфизм минералов. Такой ход развития минералогической науки тесно связан со следующими обстоятельствами: а) запросами промышленности и практики геологоразведочного дела, потребовавшими разработки "читаемых на минералах" критериев их качества и поисков месторождений полезных ископаемых; б) новыми задачами, появившимися в минералогии XX ст. в связи с интенсивным развитием кристаллохимии минералов; в) необходимостью генетического объяснения накопившихся в большом объеме данных по морфологии природных кристаллов; г) все более широким привлечением минералогии к решению крупных регионально-геологических проблем.

Современное понятие о типоморфизме минералов разработано А.Е.Ферсманом. Он дал следующее определение "типоморфного минерала" [25, стр.296]: "Типоморфными минералами мы называем минералы, занимающие, по тем или иным причинам, определенное место в геохимическом процессе и поэтому отвечающие тому, что в исторической геологии мы называем руководящими ископаемыми". Позже, анализируя индивидуальные особенности минералов, А.Е.Ферсман, наряду с типоморфными минералами различает "типоморфные особенности минералов", подчеркивая, что "чаще типоморфными являются отдельные свойства минералов, определяющие те или иные черты, характерные для данного момента процесса" [25, стр.297]. В понятие "типоморфные особенности минералов" А.Е.Ферсман вкладывал "...изменения в химическом составе, в окраске, в содержании изоморфных примесей, в кристаллическом облике или полиморфной модификации" [там же]. В связи с этим нельзя признать оправданными попытки ввести новые термины (типогенезис, минеразкология) с целью переименования ферсмановских терминов под предлогом того, что "типоморфизм" (например [197]) в точном переводе означает учение о форме кристаллов. По этому поводу Ф.В.Чухров в обзоре работ по типоморфизму минералов отметил, что исторически получилось так, что многие научные термины, в том числе "типоморфизм", "изоморфизм" в буквальном значении не соответствуют вложенному в них смыслу, но это не ограничивает развития соответствующих разделов науки [28, 29].

Следует заметить, что "сущность типоморфизма многими исследователями, вероятно, понимается не очень отчетливо; иначе трудно объяснить постоянное появление множества работ, в которых излагаются результаты обычного комплексного или частичного исследования свойств минералов, но в заглавиях вводится в тех или иных вариациях слово "типоморфный" [33, стр.223]. Понятие "типоморфные особенности минералов" искажается в основном по линии приравнивания его к явлениям чисто кристаллохимического порядка — взаимосвязи химического состава со структурой.

Актуальность изучения типоморфизма минералов, определяющая развитие этого учения в наше время, логически вытекает из общих задач сов-

ременной минералогии, отличающейся опережающим развитием кристаллохимического направления по сравнению с генетическим. Благодаря проникновению в минералогию точных методов и теорий смежных наук кристаллохимическое направление в последнее время поднялось на новый, более высокий уровень развития. Во многих странах сформировались кристаллохимические школы, усилиями которых, особенно советской школы Н.В.Белова, выполнены фундаментальные обобщения по кристаллохимии минералов, позволившие создать получившую признание кристаллохимическую классификацию минералов [17]. Проведены разнообразные и многочисленные исследования в области наиболее молодого раздела минералогии — физики минералов [13, 14, 16]. Однако многие кристаллохимические и физические параметры минералов не имеют соответствующего генетического толкования, что естественно тормозит развитие теорий пороодо-рудобразования и разработку прикладных проблем геологии. В связи с этим одной из главных задач типоморфизма минералов на данном этапе является обеспечение кристаллохимических характеристик минералов соответствующими генетическими параметрами и решение обратной задачи — определение условий образования по данным кристаллохимии минералов.

В послефермановское время развитие типоморфизма минералов в нашей стране\* происходило в трех основных направлениях — накопление новых фактов (в том числе выявление новых типоморфных признаков минералов), совершенствование теоретических основ и разработка прикладных проблем. Результаты этих исследований опубликованы в многочисленных статьях нескольких специальных сборниках [8, 9, 15, 22-24, 26] и в виде отдельных глав в монографиях [2, 5, 10, 30, 32 и др.]. Трудями Г.Г.Леммлейна Д.П.Григорьева, И.И.Шафрановского, Ф.В.Чухрова, Е.К.Лазаренко, В.А.Франк-Каменецкого, А.И.Гинзбурга, Г.Н.Вертушкова, Г.П.Барсанова и их школами (за рубежом И.Костова, П.Рамдора, К.Фронделя) внесен большой вклад в развитие рассматриваемого учения, особенно в его морфологическое ответвление. На примере многочисленных минералов показано, что все их особенности: состав (основные элементы, примеси, изотопный состав), структура\*\* (форма и размеры элементарной ячейки, распределение ионов по позициям, координационное число и др.), морфология (простые формы, габитус, облик, скульптура граней, внутренняя морфология и др.), свойства (окраска и ее распределение, плеохроизм и его схема, термолуминесценция и другие виды люминесценции, рефракция и др.), включения (форма, состав, агрегатное состояние), обусловлены условиями образования. Различие только в том, что включения и конституционные типоморфные признаки непосредственно связаны с генезисом минерала, а морфологические признаки и свойства — опосредовано через конституцию.

\* За рубежом термин "типоморфный" практически не употребляется и целеустремленного развития этого учения не проводится.

\*\* Типоморфные признаки такого рода В.А.Франк-Каменецкий [27, 36] объединяет в понятие структурный типоморфизм (см. статью В.С.Мельникова и В.И.Павловича "Структурный типоморфизм минералов" в данном сборнике).



В целом можно говорить, что в настоящее время по сравнению с ферсмановским периодом в области типоморфизма минералов накоплен более разнообразный в регионально-генетическом и более точный в физико-химическом отношении материал.

Менее значительные разработки появились в послеферсмановское время в области теории типоморфизма минералов. Ф.В.Чухров рационально расширил учение о типоморфизме минералов, включив в него "представление о типоморфности минералов и их ассоциаций" [28, 29]. Он также развил положение о роли конвергенции в минералообразовании в связи с проблемой типоморфизма и наметил пути исследования проблемы, заключив при этом, что "широкое значение типоморфизма минералов для развития наших представлений о веществе земной коры и для решения практических задач делают очевидной необходимость дальнейшего углубления исследований в этой области" [29, стр.15].

Своеобразный, но не совсем ясный, особенно в терминологическом отношении, подход к развитию проблемы типоморфизма избрал Н.П.Юшкин [33, 34]. Он видит два пути развития данного учения: а) изучение явления собственно типоморфизма минералов и разработка методов типоморфического анализа и б) изучение явления гомоморфизма минералов и разработка методов генетикоинформационного анализа. Типоморфизмом минералов, по Н.П.Юшкину, называется их способность отражать генетическую природу в своей конституции и свойствах.

Заметный прогресс достигнут в прикладном направлении - разработке минералогических критериев поисков и оценки полезных ископаемых, научное начало которым положено еще в 1940 г. А.Е.Ферсманом. В настоящее время теоретически и практически доказано, что часто в ситуациях минералогические методы незаменимы [4], поэтому они используются наряду с геохимическими методами с тенденцией рационального взаимодополнения.

Несмотря на достигнутые успехи, в типоморфизме минералов еще немало недостатков, среди которых отметим только имеющие отношение к затронутой теме. Это прежде всего недостатки терминологического порядка и разноречивой трактовкой понятий типоморфизма минералов. В этой проблеме, как указывалось выше, намечается два основных методологических подхода: придать типоморфизму узкое морфологическое значение в соответствии с его дословным значением и, наоборот, расширить, включив в него все атрибуты минерала [20, 25, 28, 29 и др.].

Более прогрессивным представляется второй подход, открывающий широкие перспективы развития типоморфизма минералов. Взяв его за основу, нами сформулированы (для обсуждения) определения следующих основных понятий этого учения.

Типоморфизм минералов - свойство минералов фиксировать условия среды минералообразования, отражая их в образовании определенных минералов, ассоциаций и (или) в индивидуальных особенностях минералов.

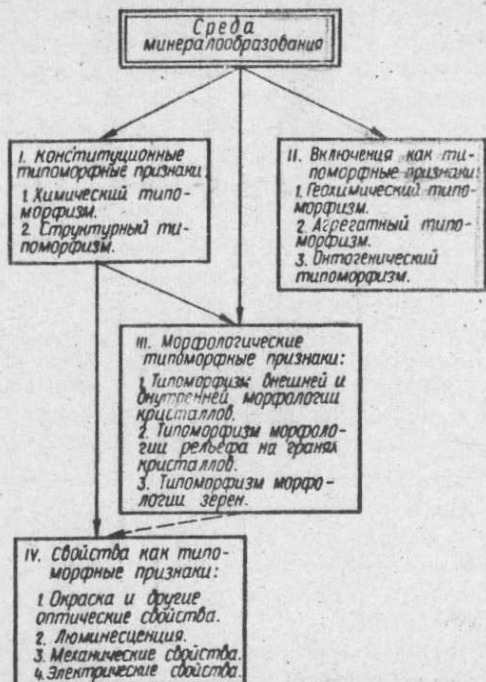


Схема классификации типоморфных признаков минералов.

Типоморфные минералы – минералы, образующиеся только в определенных физико-химических условиях и позволяющие судить об этих условиях.

Типоморфные особенности (ассоциации) минералов – признаки (ассоциации) минералов, возникающие в определенных условиях кристаллизации или преобразования и позволяющие судить об этих условиях.

Типоморфный анализ – метод установления условий образования минеральных комплексов на основе информации по типоморфизму минералов.

Принцип наследственности типоморфных признаков – преемственность типоморфных признаков минералами, образовавшимися в ходе развития родственной среды минералообразования.

Исходя из приведенных определений, в основу классификации типоморфных особенностей минералов положен принцип [5] соотношения признаков (качеств) минерала с минералообразующей средой. Другими словами – тот или иной признак непосредственно определяется условиями образования или опосредовано через другой признак. С этой точки зрения выделяются четыре основные группы признаков:

- I. Конституционные типоморфные признаки.
- II. Включения как типоморфные признаки.
- III. Морфологические типоморфные признаки.

#### IV. Физические свойства как типоморфные признаки.

Их соотношение между собой и со средой минералообразования, а также деление групп показаны на рисунке. Совершенствование данной классификации — задача будущих исследований.

#### Литература

1. Ал-Бируни. Собрание сведений для познания драгоценностей (минералогия). М., Изд-во АН СССР, 1963. 518 с.
2. Барабанов В.Ф. Минералогия вольфрамовых месторождений Восточного Забайкалья. Л., Изд-во Ленингр. ун-та. Т.1, 1961. 360 с. Т.2, 1975. 360 с.
3. Вернадский В.И. История минералов Земной коры. Т.1, вып.1. ПИТР., 1925.
4. Гинзбург А.И. Основные проблемы современной минералогии, связанные с практикой геологоразведочных работ. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1976, вып.5, с.513-528.
5. Годовиков А.А. Введение в минералогия. Новосибирск, "Наука", 1973. 232 с.
6. Григорьев Д.П. Развитие представлений об объектах минералогии и понятие о минералах по А.К.Болдыреву. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1956, вып.4, с.463-471.
7. Григорьев Д.П. Предисловие к сборнику "Генезис минеральных индивидов и агрегатов". М., "Наука", 1966, с.5-6.
8. Кристаллогенезис и процессы минералообразования. — Материалы Всесоюз. конф. 1975 г. Л., 1976. 122 с.
9. Кристаллохимия минералов и геологические проблемы. М., "Наука", 1975. 292 с.
10. Лазаренко Е.К. Основы генетической минералогии. Львов, Изд-во Львов. ун-та, 1963. 410 с.
11. Лазаренко Е.К. Роль минералогических исследований в решении общегеологических проблем. — минерал. сб. Львов. ун-та, 1972, № 26, вып.2, с.123-140.
12. Лазаренко Е.К., Сливко М.М. Пути развития минералогии. — Советская геология, 1967, № 4.
13. Марфуни А.С. Введение в физику минералов. М., "Недра", 1974. 323 с.
14. Марфуни А.С. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. М., "Недра", 1975. 326 с.
15. Минералы — индикаторы особенностей вмещающей их среды. — Тр. Ин-та геологии Карельского филиала АН СССР, 1975, вып.27, 166 с.
16. Платонов А.Н. Природа окраски минералов. К., "Наук. думка", 1976. 261 с.
17. Поваренных А.С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., "Наук. думка", 1966. 547 с.
18. Поваренных А.С. минералогия. — В кн.: История геологии. Л., "Наука", 1973, с.236-246.
19. Предисловие к сборнику "Минералы — индикаторы особенностей вмещающей их среды". — Тр. Ин-та геологии Карельского филиала АН СССР, 1975, вып.27, 1975, с.3-5.
20. Рожкова К.В., Горбатов Г.А. К вопросу о типоморфизме минералов. — В кн.: Физические методы исследования минералов осадочных пород. М., "Наука", 1966, с.14-24.
21. Сечевича А.М. Природа гидротермальных рудообразующих растворов. М., "Недра", 1966. 165 с.
22. Типоморфизм кварца Украины. К., "Наук. думка", 1974. 123 с.
23. Типоморфизм минералов. М., "Наука", 1969. 247 с.
24. Типоморфизм минералов и его практическое значение. М., "Недра", 1972. 260 с.
25. Ферман А.Е. Избранные труды. Т.6. М., Изд-во АН СССР, 1960. 742 с.
26. Физика минералов и проблемы типоморфизма. — Материалы Всесоюз. конф. 1975 г. Л., 1975. 115 с.

27. Франк-Каменецкий В.А. Структурный типоморфизм и современная минералогия. - Тезисы докладов на юбилейной научн. сессии, посвященной 150-летию Всесоюз. минерал. об-ва. Л., 1967, с.25-26.
28. Чухров Ф.В. Типоморфизм - важнейшая проблема современной минералогии. - В кн.: Типоморфизм минералов. М., "Наука", 1969, с.3-14.
29. Чухров Ф.В. Некоторые вопросы типоморфизма минералов. - В кн.: Типоморфизм минералов и его практическое значение. М., "Недра", 1972, с.6-16.
30. Шмакин Б.М. Мусковитовые и редкометалльно-мусковитовые пегматиты. Новосибирск, "Наука", 1976.
31. Шнейдерхен Г. Рудные месторождения. Пер. с немецкого. Под редакцией В.И.Смирнова. М., Изд-во информ. лит. 1958. 501 с.
32. Щербина В.В. Основы геохимии. М., "Недра", 1972. 295 с.
33. Юшкин Н.П. Проблема типоморфизма минералов. - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1972, вып.2, стр.223-236.
34. Юшкин Н.П. Проблемы и методы генетикоинформационной минералогии. - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1976, вып.6, с.633-647.
35. Becke F. Über Mineralbestand und Struktur der kristallinen Schiefer. Denkschr. der Wiener Akademie, 7 Mai 1903.
36. Frank-Kamenetzky V.A. Strukturtypomorphismus und moderne Mineralogie. Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss., B, Miner. Lagerstätten, 1968, Bd. 13, N 3.
37. Grubenmann U. Die Kristallinen Schiefer. Berlin, Bortrager, H.2, 1904, 280 p.
38. Grubenmann U., Niggli P. Die Gesteinsumetamorphose. Bd.1, Berlin, 1924.

В.С.Мельников, В.И.Павлятин

#### СТРУКТУРНЫЙ ТИПОМОРФИЗМ МИНЕРАЛОВ

Интенсивно развивается структурное направление учения о типоморфизме минералов (Ф.В.Чухров, А.С.Поваренных, В.А.Франк-Каменецкий, Г.А.Сидоренко, А.Г.Коссовская, В.А.Дриц, Б.Б.Звягин, Н.П.Юшкин и др.). Успешное решение многих генетических задач на основе структурно-минералогической информации позволяет думать, что введение в минералогию понятия "структурный типоморфизм минералов" (Франк-Каменецкий, 1967) оправдано.

Структурный типоморфизм минералов - свойство их кристаллической структуры фиксировать и хранить информацию об условиях образования. Из определения следует, что для учения о типоморфизме минералов важны только те структурные данные, для которых установлены однозначные связи с генезисом. В противном случае приходится говорить о конвергентности структурно-типоморфных признаков или их малой информативности.

В треугольнике "состав - структура - морфология" кристалла все три понятия тесно взаимосвязаны: состав минерала реализуется в определенной кристаллической структуре, а морфология - внешнее выражение состава и структуры. Поскольку состав и морфология также определяются условиями внешней среды, структурно-типоморфные свойства минералов целесообразно коррелировать с изменением их химических и, если возможно, морфологических характеристик.

Структурно-типomorphicные признаки минералов проявляются в геометрии структуры кристалла и ее элементов (координаты атомов, углы и длины атомных связей, параметры элементарной ячейки, межплоскостные расстояния, распределение ионов по позициям структуры и др.), а также в физико-химических, электрических, механических, оптических свойствах кристалла (полиморфизм, оптические спектры, твердость и др.). В соответствии с этим объектами исследования при установлении структурно-типomorphicных признаков могут быть: а) структура минералов в целом; б) элементы структуры - полиэдры, слои, цепочки и т.д.; в) электронная структура; г) морфолого-структурные элементы реального кристалла - дефекты, дислокации, блоки мозаики и др.

Эти объекты исследования отличаются составом, геометрией, энергетическим состоянием, несут неодинаковую генетическую нагрузку и выявляются различными методами. В связи с этим нами для обсуждения предлагается более дробная схема классификации основных структурно-типomorphicных признаков минералов (см. таблицу), которые в генетическом отношении наиболее информативны и относительно легко устанавливаются современными методами исследования.

Признаки, обусловленные структурными переходами		Признаки, связанные со структурной неоднородностью	
Первого рода	Второго рода	Микро-	Макро-

#### Без изменения состава

Полиморфизм	Порядок-беспорядок:	Структурная дефектность (вакансии, смещение атомов и др.)	Дислокации Мозаичность Двойникование
	а) атомов		
	б) цепочек		
	в) слоев (поли-типизм)		
г) блоков			

#### С изменением состава

Изополиморфизм	Изополитипизм	Примесная дефектность (электронно-дырочные центры)	Зональность
Распад твердых растворов и сегрегация	Смешаннослойность		Эпитаксия

Круг геологических проблем, которые можно решать с помощью информации по структурному типomorphicнзму минералов, очень широк. Отметим только две, которые представляются первостепенными в генетической и прикладной минералогии:

1. Установление термодинамических параметров образования минера-

лов (минералогические геотермометры и геобарометры) в связи с проблемой генезиса и рудоносности пород.

2. Установление способа образования минералов – свободный рост, перекристаллизация, трансформация, метасоматическое замещение.

М.И.Новгородова

О НОМЕНКЛАТУРЕ ПРИРОДНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  
В БИНАРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ  
С ПРИЗНАКАМИ ДАЛЬНОГО И БЛИЖНЕГО ПОРЯДКА

Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества среди минералов – членов прерывных или непрерывных изоморфных рядов, рекомендуется выделять с присвоением самостоятельного названия лишь конечные члены ряда, а промежуточные относить к разновидностям. Однако минералы одного и того же состава (который, очевидно, может быть и промежуточным в ряду изоморфных смесей или твердых растворов), связанные между собой явлением порядок – беспорядок, объединяются одним названием с указанием степени упорядоченности, а упорядоченные члены вправе иметь самостоятельные названия. В природных твердых растворах с неограниченной смесимостью при высоких температурах и признаками превращений в твердом состоянии при низких температурах выделение минеральных видов и разновидностей требует введения дополнительных условий. Рассмотрим в качестве примера две бинарные системы  $Ag-Au$  и  $Cu-Au$ , минералы которых, обычно объединяемые родовыми названиями самородного и медистого золота, достаточно широко распространены в природе.

Система  $Ag-Au$ . Природные золото-серебряные твердые растворы большинство исследователей считают аналогами сплавов золота и серебра, полная смесимость которых установлена экспериментально. До последнего времени доказывалось, что изменчивость содержания серебра в самородном золоте можно описать практически непрерывной кривой (Берман, Стружков, 1974). В 1973 г. Н.В.Петровской высказано предположение, согласно которому рассматриваемые твердые растворы, первоначально гомогенные, за геологическое время упорядочивались и могли распадаться, образуя смеси интерметаллических соединений, ряд которых был дискретным. На диаграммах состав – свойство (твердость) обнаружены сингулярные точки, позволявшие предположить наличие стехиометрических соединений (дальтониюдов) состава  $AuAg$ ,  $Au_2Ag$ ,  $Ag_3Au$  (Петровская, Новгородова, 1975). В дальнейшем удалось обнаружить отчетливо проявленные структуры распада и подтвердить прецизионными методами состав дальтоновских фаз (Петровская и др., 1976). Однако неоднократно предпринимаемые нами попытки установить отклонения структуры образующихся фаз от гранецентрированного кубического мотива распределения атомов в решетке, свойственные неупорядоченным твердым растворам, не увенчались успехом: микродифракцион-

ные картины с экстрагированных частиц этих фаз и включающей их матрицы оказывались тождественными. Известно, что для искусственных сплавов аналогичного состава на дебаеграммах обнаруживается широкий и слабый максимум интенсивности лауэвского рассеяния, расположенный в области, где должна была бы находиться линия (100) (Гинье, 1962); слабые максимумы вблизи узлов простой кубической решетки установлены также Н. Норманом и В. Уорреном (Norman, Warren, 1951). Ни одна из более поздних работ не подтвердила наличие дальнего порядка в рассматриваемых сплавах (Хансен, Андерко, 1962; Шанк, 1973). Вместе с тем исследования как природных, так и искусственных золото-серебряных твердых растворов показывают, что в распределении атомов в их структуре наблюдается ближний порядок, степень которого наибольшая (70%) в твердых растворах эквивалентного состава (Сафронов, 1974).

Отчетливо выраженные структуры распада в гетерогенных выделениях самородного золота, образованные сочетанием фаз, состава, близкого к стехиометрическому, и со структурой, отличающейся от неупорядоченных золото-серебряных твердых растворов лишь ближним порядком в расположении атомов, убеждают в том, что распад этих природных твердых растворов протекал по спинойдальному закону, а упорядочение четко индивидуализированных фаз, образованных при распаде, относится к начальной стадии превращений типа порядок - беспорядок.

Реально существующие дальтоницидные фазы в природной системе  $Ag - Au$  обладают четко выраженными фазовыми границами, стехиометрическим составом и особыми физическими свойствами (Петровская и др., 1977). Несмотря на изоструктурность с исходным неупорядоченным твердым раствором, эти дальтоницидные фазы требуют своего наименования. В этом качестве могут использоваться традиционно сложившиеся названия разновидностей самородного золота.

Кристаллом со времен Брейтгаупта принято обозначать золотистое серебро. Предлагается закрепить это название за дальтоницидной фазой состава  $Ag_3Au$ . Электрум относился к разновидностям низкопробного золота без четких концентрационных границ. Логично было бы называть электрумом соединение эквивалентного состава  $AuAg$ . Для выделений высокопробного золота обычно использовалось название самородного золота, его, очевидно, следует сохранить для крайнего члена ряда  $Ag - Au$ . Для дальтоницидной фазы  $Au_3Ag$  (75 ат. %  $Au$ ) предлагается использовать название аргентоаурит, введенное в номенклатуру золото-серебряных соединений А.С. Шоваренных (1966).

Система  $Cu - Au$ . Эта классическая с точки зрения фазовых превращений типа порядок - беспорядок система изучена на искусственных сплавах с большой степенью детальности. Достоверно установлено существование трех соединений:  $Cu_3Au$ ,  $CuAu$  и  $CuAu_2$ ; для двух первых Н.С. Курнаковым (1961) показано наличие твердых растворов с избытком своих

компонентов (для составов с 19-32 и 43-66 ат. %  $Cu$ ). В области составов 0 - 22,5 и 65 - 100 ат. %  $Au$  в сплавах существует непрерывный твердый раствор золота и меди. Соединение состава  $Cu_3Au_2$ , описанное С. Иохансеном и Д. Линде (Johannsen, Linde, 1936) для сплавов впоследствии не подтвердилось (Хансен, Андерко, 1962).

В области составов между полями фаз  $Cu_3Au$  и  $CuAu$  имеется разрыв растворимости эвтектоидного характера (интервал 35-40 ат. %  $Au$ ). В результате перитектоидной реакции при 250°C в интервале 65-80 ат. %  $Au$  образуется еще одна упорядоченная фаза состава -  $CuAu_3$ .

Сведения о тройной системе  $Cu-Au-Ag$  ограничены. Известно, что взаимная растворимость  $Cu$  и  $Ag$  в твердом состоянии незначительна: при 450°C в меди растворяется всего 0,83 вес. %  $Ag$ , в серебре - 1,3 вес. %  $Cu$  (Хансен, Андерко, 1962). В пересыщенных твердых растворах избыток серебра в виде самостоятельной фазы сегрегируется по границам  $Au-Cu$  соединений (Шашков и др., 1969).

Природные соединения в двухкомпонентной системе  $Cu-Au$ , как и искусственные, являются либо разупорядоченными твердыми растворами с гранецентрированной кубической ячейкой, в которой не устанавливаются признаки дальнего порядка, либо в разной степени упорядоченными твердыми растворами стехиометрического состава  $Cu_3Au$ ,  $CuAu$  и  $CuAu_3$ , соответствующие искусственным интерметаллидам. Реальная структура стехиометрических соединений представлена чередующимися тончайшими пластинками с частично упорядоченным и статистическим (неупорядоченным) распределением атомов; упорядочение дальтонидной фазы  $Cu_3Au$  приводит к понижению симметрии элементарной ячейки от гранецентрированной кубической до примитивной кубической с пространственной группой  $Pm\bar{3}m$ , а дальтонидной фазы  $CuAu$  - тетрагональной с пространственной группой  $P4/mmm$ . Степень упорядочения варьирует в пределах одного зерна и может быть отчетливо различима лишь на участках размером  $< 0,1$  мкм. Однако макроскопически выраженные (размером в первые миллиметры) выделения природных дальтонидных фаз индивидуализированы как по своему химическому составу, так и по цвету, отражению, микротвердости и ряду других признаков (Новгородова и др., 1977). Как и в системе  $Ag-Au$ , определяющим для существования золото-медных соединений является установление принадлежности их к дальтонидным фазам стехиометричного или близкого к нему состава, обладающим сингулярными точками на диаграммах состав - свойство.

Номенклатура природных соединений системы  $Cu-Au$  разработана неудовлетворительно.

Природные интерметаллические соединения системы  $Cu-Au$  описывались под общим названием медистого золота, начиная с первых находок минералов этой группы в середине прошлого столетия (Diday, 1950) и до самого последнего времени (Stumpfl, Clark, 1965).



В 1939 г. М.Н. Ложечкиным выделен самостоятельный минеральный вид - купроаурид  $Cu_3Au_2$  с кубической решеткой и параметром  $a_0 = 3,82 \text{ \AA}$ .

В 1950 г. П. Рамдором (Ramdohr, 1950) описан новый минерал аурикуприд, формула которого  $Cu_3Au$ . Возможные в ряду  $Cu-Au$  природные соединения состава  $CuAu$  и твердые растворы с переменным соотношением  $Cu$  и  $Au$  предлагалось описывать без названия (Рамдор, 1962; 1967).

В 1971 г. Л.В. Разиным с соавторами опубликовано описание нового минерала палладиевого купроаурида с формулой  $(Cu, Pd)_3Au_2$ , отнесенного к ромбической сингонии с параметрами элементарной ячейки  $a_0 = 3,86$ ,  $b_0 = 3,90$ ,  $c_0 = 3,84$ ; позднее (Разин, 1975) тот же анализированный минерал получил название палладиевого рожковита с формулой  $(Cu, Pd)_{3-x}Au_2$  и параметрами  $a_0 = b_0 = 3,88$ ,  $c_0 = 3,90$ . В третьей интерпретации, принадлежащей П. Рамдору (Ramdohr, 1975), ссылающемуся на указанные работы Л.В. Разина, этот минерал назван рожковитом, имеющим формулу  $CuAu$  и параметры  $a_0 = 4,02$ ,  $b_0 = 3,87$ ,  $c_0 = 3,71 \text{ \AA}$  в той же орторомбической сингонии. Фактические данные (результаты рентгено-спектрального анализа и дебаэграмма) для всех трех описаний одного и того же минерала с разными названиями одинаковы.

Палладиевый купроаурид (рожковит палладиевый) с формулой  $(Cu, Pd)_3Au_2$  содержит медь в количестве, близком к таковому в соединении  $CuAu$ . Проведенная авторами открытия минерала (Разин и др., 1971) аналогия с известным соединением  $Cu_3Au_2$ , описанным С. Иоханссеном и Д. Линде в 1936 г., некорректна, так как впоследствии состав этого соединения не подтвердился (Хансен, Андерко, 1962). Следует согласиться с мнением А.Д. Генкина (Генкин и др., 1970), трактующего состав этого минерала как  $(Au, Pd)Cu$  с соотношением атомов, занимающих разные структурные позиции в решетке, равным 1:1. В таком случае палладиевый купроаурид (рожковит палладиевый) является палладиевой разновидностью природного соединения  $CuAu$  с большой степенью упорядочения.

Мы предлагаем для всех соединений природной  $Au-Cu$  системы сохранить укоренившееся в литературе общее родовое название группы медистого золота, различая внутри этой группы в качестве самостоятельных минеральных видов стехиометрические соединения (дальтонидные фазы) с признаками как ближнего, так и дальнего порядка. Видовые названия внутри этой группы минералов рациональнее всего давать по количественным соотношениям основных компонентов: аурикуприд  $Cu_3Au$  (название предложено П. Рамдором (Ramdohr, 1950)), эквиаурикуприд  $CuAu$  (экви - приставка, обозначающая равноатомные соотношения компонентов) и куприаурид  $CuAu_3$ .

Громоздкие названия минералов из этой группы (предложенные Л.В. Разиным, 1975): аурокупорит, аргентокупроаурит и другие, обозначающие неупорядоченные твердые растворы представляются излишними, поскольку в природе, очевидно, редко встречаются как полностью упорядоченные, так

и полностью разупорядоченные твердые растворы, и провести границу между ними, особенно с выделением самостоятельных минеральных видов на практике затруднительно.

Приведенные примеры показывают, что степень упорядочения, варьирующая в разных крайне малых по размерам участках мономинеральных выделений, не может служить основным условием выделения минеральных видов в металлических системах. Определяющим должно являться наличие дальтоновидных фаз со стехиометрией постоянной или отклоняющейся от нее в пределах их области гомогенности. Для большого количества бинарных систем существование в природе такого рода дальтоновидных фаз может быть предсказано, исходя из рассмотрения экспериментальных диаграмм состояния и современной теории упорядоченных систем.

И.В.Островская

ВЫДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВИДОВ  
В ПРЕДЕЛАХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  
ПО МЕТОДУ БОЛДЫРЕВА (на примере группы роговых обманок)

Роговые обманки представляют собой сложный многокомпонентный твердый раствор. Изоморфные замещения, изовалентные и гетеровалентные, в том числе с заполнением вакансий, происходят как в катионной, так и в анионной части.

Пользуясь принципом, разработанным в 1920-х годах А.К.Болдыревым, на основе гетеровалентных замещений в роговых обманках можно выделить одно-, двух-, трех- и т.д. компонентные минеральные виды. При этом за исходный вид принимается тремолит.

Обсуждаются вопросы номенклатуры роговых обманок.

М.А.Карасик

О ВОЗМОЖНОМ ЗНАЧЕНИИ ТИПОМОРФНЫХ ПРИЗНАКОВ МИНЕРАЛОВ  
ДЛЯ ИХ ЕСТЕСТВЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Анализ состояния современного этапа развития минералогии в ее теоретических и экспериментальных аспектах при наличии все более совершенствуемых высокочувствительных и точных методов исследований химических элементов, их природных соединений и парагенетических ассоциаций позволяет утверждать возможность построения в ближайшем будущем естественной классификации минералов, которая в большой мере связана и с крупными успехами родственной минералогии геологических наук, прежде всего геохимии, металлогении, петрологии, учения о месторождениях полезных ископаемых.

В соответствии с требованиями к естественной классификации геологических образований необходимо сохранение единства принципов ее построения для объектов с различными уровнями их организации: химических элементов, минералов, ограниченных во времени и пространстве различного рода минеральных образований. По аналогии, например, с элементарными и целостными объектами горных пород и руд естественной классификацией минералов должны охватываться множества всех известных и желательных прогнозируемых минеральных видов.

Исходя из развиваемого советскими минералогами (В.С.Соболев, А.С.Поваренных, Д.П.Григорьев) понятия о минеральном виде как в сущности геологическом образовании с непрерывно и скачкообразно изменяющимся химическим составом и структурными свойствами в зависимости от конкретных термодинамических условий земной коры, к нему может быть применимо основанное на законе геохимической последовательности А.Е.Ферсмана разработанное им понятие о геохимических комплексах, в свое время использованное нами в качестве определяющего признака классификации послемагматических рудных полей.

Определяющим фактором деления минеральных видов на естественные группировки может служить ответственное за проявление их типоморфных особенностей специфическое в минералообразовании явление конвергенции, выражающееся в том, что одни и те же минералы и их ассоциации могут быть продуктами самых различных геологических и физико-химических процессов. Именно обусловленные этим явлением отличительные типоморфные свойства минералов в различных по генезису, составу, строению и морфологии минеральных образованиях (горных породах, рудах, нерудных и горючих ископаемых) и могут служить признаками их естественной классификации.

В основу разработки естественной классификации минералов, очевидно, должны быть положены имеющиеся современные кристаллохимические классификации с введением дополнительных диагностических признаков, по возможности наиболее полно отражающих конкретные геологические (естественно-исторические) условия минералообразования. Такими признаками на определенных ступенях классификации могут служить данные об указанных геохимических комплексах минералов в их развитии во времени и пространстве, конкретно выраженные в устанавливаемых содержаниях, свойственных отдельным минеральным видам элементов-примесей, и в закономерно изменяющихся значениях коэффициентов, характеризующих их количественные отношения. Определяющее значение этих признаков обусловлено:

наличием закономерных связей между объективно и относительно легко познаваемыми особенностями распространения и формами нахождения элементов-примесей в минералах, с одной стороны, изменчивостью в связи с этим их структуры, физических свойств и морфологии минеральных агрегатов - с другой;

теоретическим и практическим значением полных данных о химическом составе минералов и их парагенетических ассоциаций для дальнейшего развития минералогии и родственных ей наук.

При благоприятных общих перспективах создания естественной классификации минералов возникающие большие затруднения в практическом осуществлении этой актуальной проблемы обусловлены в первую очередь отсутствием необходимых унифицированных данных о полном химическом составе преобладающего большинства известных минералов, которые базировались бы на анализах определенных множеств мономинеральных проб из разнообразных геологических образований. Эти трудности с большой вероятностью могут быть преодолены при условии выполнения по детально разработанным программам комплекса целеустремленных исследований по этапам довольно длительного периода времени в следующих направлениях.

1. Обобщения и анализ в интересующем нас аспекте имеющихся достоверных опубликованных и фондовых материалов по типоморфным свойствам минералов при максимальном привлечении геологических данных по условиям их образования, последующих изменений и превращений.

2. Разработка единой системы номенклатуры и терминологии, относящихся к названиям, свойствам и диагностическим признакам элементарных и целостных объектов минералогии, геохимии, петрологии, учения о месторождениях полезных ископаемых применительно к проблемам их естественной классификации, что связано с целесообразностью исключения при этом технико-экономических понятий и терминов ("руда", "месторождение", "нерудные минералы" и др.).

3. Подразделение с помощью статистических методов всех известных минеральных видов и внутривидовых их разновидностей на группы по присущим им отличительным типоморфным признакам (установленным или прогнозируемым) с выделением групп таких минералов, особенно из числа редко встречающихся, для которых эти признаки не изучались и не могут быть достоверно установлены из-за невозможности отбора чистых мономинеральных проб.

4. Лабораторные экспериментальные исследования по установлению особенностей изменчивости полного химического состава минералов, в первую очередь наиболее распространенных с ярко выраженными типоморфными признаками, а затем по изучению все большего их количества в целях выявления таких признаков и их изменений в разнообразных геологических условиях; по выделению эталонов полного развития отдельных минеральных видов в наиболее благоприятных геологических и физико-химических условиях; по определению предельной изоморфной емкости в них наиболее характерных элементов-примесей, а также форм проявлений последних, включая и минеральные.

5. Теоретические и разновариантные экспериментально-методические исследования с применением математических способов оценки их результатов для выделения оптимальных категорий ступенчатой классификации по

указанным ведущим типоморфным признакам минералов на основе понятия о непрерывно-прерывистом развитии в них геохимических комплексов; особое внимание должно быть уделено выбору приемов комбинированного использования химических и структурных типоморфных признаков минералов на конечной ступени их классификации, что может способствовать более полному выявлению закономерных корреляционных зависимостей между теми и другими признаками.

6. Разработка классификации минералов с анализом полученных результатов по вскрытию с ее помощью новых закономерностей их образования в различных геологических обстановках.

7. Поиски возможных путей и способов использования единых принципов систематики объектов минералогии и указанных родственных геологических наук.

Значительные затраты средств на выполнение трудоемких и длительных исследований по указанным направлениям для разработки классификации минералов, по необходимости требующих участия многочисленного коллектива ученых различных научно-исследовательских учреждений, должны быть оправданы большими теоретическими и практическими результатами этих исследований. Значительного технико-экономического эффекта следует ожидать от выявления при использовании материалов исследований новых закономерностей формирования месторождений полезных ископаемых, усовершенствования методов их прогнозирования, поисков и разведки, а также способов более полного комплексного использования минерального сырья при одновременном улучшении охраны внешней среды от загрязнения вредными веществами.

Б.И. Широков

#### ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ МАГНЕТИТОВЫХ РУД, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

В настоящее время на стыке минералогии и технологии минерального сырья развивается новое научное направление прикладной (технологической, по А.И. Гинзбургу) минералогии. В связи с этим применение достижений теоретической минералогии и современных методов исследования (электронного микросондирования, электронной микроскопии, ИК-спектроскопии, дифрактометрии, электростатических, магнитостатических и других методов) для познания технологических особенностей руд приобретает исключительно важное народнохозяйственное значение. Если учесть, что минеральный состав, текстурно-структурные признаки и физико-механические свойства руд — следствие определенных условий образования месторождений, то можно утверждать, что технологические свойства руд (дробимость и измельчаемость, раскрываемость рудных и нерудных минералов, способность и эффективность сепарации измельченных продуктов) находятся в прямой свя-

зи с их генезисом. Необходимо для каждого генетического типа руд выявить эту связь и реализовать ее в технологической схеме обогащения. Как показывают наши исследования, с помощью геолого-минералогического, технологического и математико-статистического анализов может быть дана достаточно объективная оценка долевого участия каждого из изученных минерало-генетических признаков с выявлением типоморфных, определяющих технологические особенности руд. Изучая технологические свойства минералов, важно исследовать изменчивость их состава, структуры и общих физических свойств, обратив особое внимание на неоднородность состава и строения различных частей минеральных индивидов, которые могут существенно влиять на характер их извлечения при обогащении. Рассматривая эту проблему, следует учитывать, что условия минералообразования могут существенно отразиться на морфологии индивидов и агрегатов, обличая технологические свойства различных минеральных видов, разновидностей, разновидностей, уменьшая их различия, связанные с кристаллохимией. Технологические свойства одних и тех же минеральных видов могут существенно изменяться в зависимости от характера минералогической ассоциации, изменчивости электрокинетического потенциала поверхности осуществляющих минералов и измельченных минеральных частиц.

Исследование минерало-генетических особенностей и технологических свойств магнетитовых руд разрабатываемых месторождений магматического (Качканарское - магнетитовые малотитанистые руды в интрузивах габбро-пироксенит-дунитовой формации; Ковдорское - апатит-магнетитовые руды в щелочно-ультраосновных интрузивах с карбонатитами), контактово-метасоматического (Дашкесанское - магнетитовые известково-скарновые руды; Соколовское и Сарбайское - магнетитовые скаполит-альбит-скарновые руды), гидротермального (Коршунское и Рудногорское - магнетитовые руды, связанные с трапями) и метаморфогенного (Кривой Рог, Курская магнитная аномалия, Кременчуг, Петровское, Оленегорское - магнетитовые кварциты докембрия) генезиса, в которых сосредоточены основные промышленные запасы, позволяет говорить о типоморфных признаках магнетитовых руд, определяющих их технологические особенности. Геологическая позиция месторождения и особенности генезиса магнетитовых руд предопределяют закономерности в изменчивости минерального состава и текстурно-структурных признаков: особенности минерало-геохимической зональности рудных тел (толщ) и характер ее проявления, специализацию и фазовый состав минеральных ассоциаций основных рудных и нерудных минералов, их кристалломорфологию и гранулометрию, изменение железистости сосуществующих с магнетитом нерудных минералов, что отражается на закономерностях изменчивости их технологических показателей. В качестве типоморфных признаков, определяющих технологические особенности магнетитовых руд, могут быть рассмотрены следующие:

1. Минеральные ассоциации, связанные со стадийностью процессов рудообразования, и геохимическая специализация элементов-примесей обуслов-

ливают разделение руд на комплексные и простые, предопределяя методы обогащения и особенности геолого-технологического картирования месторождений.

2. Содержание и соотношение различных минеральных форм железа определяют рациональный технологический режим переработки и глубину обогащения руд.

3. Состав и свойства магнетитов обуславливают максимально возможное содержание железа в магнитном концентрате.

4. Химический состав нерудных минералов предопределяет содержание железа в хвостах и особенности металлургической переработки магнетитовых концентратов.

5. Текстурные особенности руд обуславливают конечную крупность дробления и возможность выделения отвальных хвостов методом сухой магнитной сепарации.

6. Морфология, гранулометрия магнетита и типы его сростаний с минералами (характерные структуры руд) предопределяют конечную крупность измельчения и целесообразность стадийного обогащения.

7. Степень и характер изменчивости руд вторичными процессами минералообразования изменяют эффективность обогащения первичных руд.

8. Физико-механические свойства руд предопределяют дробимость и измельчаемость руд.

Для всех типов месторождений характерна минералого-геохимическая зональность рудных тел (толщ), обусловленная различными геологическими процессами минералообразования, в том числе седиментацией и диагенезом, метаморфизмом и метасоматозом, магматизмом и гидротермальными проявлениями, а также процессами гипергенеза. Она подчеркивает закономерности в изменчивости вещественного состава и, как показывают исследования, лучше проявлена среди титаномagnetитовых руд Качканарского типа и железистых кварцитов различных фаций метаморфизма. Приуроченность отдельных месторождений к сложноскладчатым структурам нередко усложняет зональность вплоть до ее уничтожения.

Морфология, гранулометрия, кристаллохимия минеральных индивидов и агрегатов, характер их взаимоотношений друг с другом в различных генетических типах руд разнообразны как в пределах отдельных их минеральных разновидностей, так и по блокам и рудным залежам месторождений в целом, что определяется особенностями процессов минералообразования, обуславливая типоморфные признаки руд в связи с их обогащением. Для осадочно-метаморфических железистых кварцитов и собственно магматических малотитанистых руд Качканара характерны в основном октаэдрические выделения магнетита, содержащие в первом случае главным образом механические включения кварца и изредка в небольших количествах изоморфный германий, а во втором — титан в виде изоморфной примеси и твердые растворы магнетита и ильменита, магнетит-пироксен. Для магнетитовых руд остальных генетических типов месторождений характерно разнообразие морфологических

выделений магнетита вплоть до образования 48-гранников и сложных комбинаций с большим количеством изоморфных примесей  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $TiO_2$ , а также механических примесей шпинели, кальцита и других, образование эпитаксических сростаний магнетита с гранатом, кальцитом, пиритом и др. Магнетит высокотемпературных месторождений (магматических, контактово-метасоматических, гидротермальных) таким образом представляет собой полиминеральный гетерогенный агрегат, что обуславливает уменьшение содержания железа в конечном концентрате, ухудшение его физико-химических свойств (повышение тугоплавкости при высоких содержаниях  $MgO$ ). Процессы метаморфизма облагораживают магнетитовые руды, способствуя увеличению содержания железа в концентрате до 68-70%, резко уменьшая количество вредных примесей. Степень и характер изменчивости магнетитовых руд различными вторичными процессами (серпентинизация и уралитизация в пироксенитах качканарского типа; "штарфелитовая рубашка" на кристаллах магнетита в рудах Ковдора; разнообразие послескарновые процессы и т.д.) существенно видоизменяют эффективность магнитного обогащения.

В заключение необходимо заметить, что выявленные типоморфные признаки магнетитовых руд позволяют наиболее рационально осуществлять их обогащение и целенаправленно проводить минералого-технологическое картирование с учетом технологических типов и сортов руд, природа которых в значительной степени определена геологической историей формирования месторождений и прежде всего - генезисом руд.

А.А.Вальтер, Е.П.Гуров, Е.П.Гурова, Р.Б.Ракицкая  
ТИПОМОРФИЗМ МИНЕРАЛОВ ВЗРЫВНЫХ МЕТЕОРИТНЫХ КРАТЕРОВ  
УКРАИНСКОГО ЩИТА

В ударно-метаморфизованных гранитоидных породах взрывных метеоритных кратеров Украинского щита диагностирован ряд высокобарических и высокотемпературных фаз минералов, которые образовались при ударном давлении выше 100 кбар и температуре выше  $1500^{\circ}C$ , не достижимых при эндогенных процессах. В породах четырех из шести известных в настоящее время на территории Украины астроблем установлен коэсит. Он диагностирован рентгеновским и другими методами в составе ударно-метаморфизованного кварца или кварцсодержащих пород, величина ударной нагрузки для которых определена в 120-200 кбар.

Установлена высокобарическая фаза углерода кубической сингонии с параметром элементарной ячейки  $a_0 = 5,45 \text{ \AA}$ ; аналогичная синтезированной Лустом и Дрикамером в статических условиях при давлении выше 150 кбар фазе углерода с параметром ячейки  $a_0 = 5,454 \text{ \AA}$ . В природных образованиях эта фаза установлена впервые.



В аллогенных брекчиях Болтышского метеоритного кратера диагностирована кубическая фаза  $ZrO_2$  с параметром ячейки  $a_0 = 5,07 \text{ \AA}$ . Кубическая фаза  $ZrO_2$  в экспериментальных условиях синтезируется при температуре выше  $1900^\circ\text{C}$ . Эта фаза нестабильна; стабилизация ее достигается введением примеси  $CaO$ . В минерале из Болтышского метеоритного кратера стабилизация также достигается за счет различных примесей, в том числе  $PbO_2$  и некоторых других компонентов.

Типоморфными особенностями кварца из пород астроблем Украинского щита является наличие в нем систем планарных элементов и понижение показателей преломления вплоть до перехода в диаплектовое кварцевое стекло с показателем преломления 1,462. Важнейшие системы планарных элементов в кварце, которые можно использовать для восстановления величины ударного давления на породы, — это  $\{10\bar{1}3\}$ ,  $\{10\bar{1}2\}$ ,  $\{0001\}$ . Впервые в ударно-метаморфизованном кварце установлено развитие систем планарных элементов по  $\{10\bar{1}4\}$ ,  $\{11\bar{2}4\}$  и  $\{20\bar{2}5\}$ .

В породах Оболонского, Болтышского, Зеленогайского и некоторых других кратеров установлено широкое развитие систем планарных элементов в биотите. Преобладают системы с кристаллографической ориентировкой по  $\{032\}$ ,  $\{3\bar{5}4\}$ ,  $\{203\}$ .

Л.И.Канищева

#### МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ГЛУБИНОСТИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОЛОВО-ВОЛЬФРАМОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПРИМОРЬЯ

Использованию минералогических критериев для оценки глубинности минерализации олово-вольфрамовых месторождений посвящены работы многих исследователей [1 - 12].

Комплексные минералогические критерии глубинности оруденения наряду с геолого-структурными факторами его локализации должны шире использоваться геологами при прогнозировании скрытого оруденения на основе зональности эндогенных месторождений.

Автором в течение ряда лет ведутся минералого-геохимические исследования минеральных парагенезисов эндогенных месторождений разных уровней глубинности Снежинской купольной структуры Приморья. В пределах отдельных оловорудных и олово-вольфрамовых месторождений площади комплексно изучаются геолого-структурные условия локализации оруденения и типоморфизма главных жильных и рудных минералов: кварца, полевого шпата, турмалина, хлорита, касситерита, вольфрамита, арсенипирита, сфалерита и галенита. Изменение химического состава типоморфных минералов в пределах отдельных изученных месторождений, залегающих на разных уровнях глубинности, содержания в них элементов-примесей, твердости и кристаллографического облика характеризуют физико-химические условия ми-

нералообразования, что позволяет решать вопросы глубинности эндогенной минерализации площади.

Олово-вольфрамовое месторождение грейзеново-жильной формации расположено в северо-западной части Снежинской купольной структуры Приморья, в зоне пересечения Центрального структурного шва Сихотэ-Алиня рядом поперечных глубинных разломов субширотного направления. Оно локализовано среди песчано-сланцевых образований верхнего триаса в надинтрузивной зоне нескрытого массива лейкократовых биотитовых гранитов. Многочисленные кварцевые и кварц-ортоклазовые жилы с вольфрамитом, касситеритом и скудными сульфидами выполняют разобщенные крутопадающие системы трещин северо-западного, субмеридионального и субширотного направлений, образуя рудный штокверк, прослеженный окважинами на большую глубину без изменения характера минерализации. В зальбандах кварц-полевошпатовых жил отмечается широкое развитие топаза.

Минералого-геохимическое изучение состава минеральных парагенезисов и их взаимоотношений позволило выделить следующие стадии минералообразования: кварц-полевошпат-вольфрамитовую, кварц-турмалин-касситеритовую, кварц-хлоритовую (сульфидную), кварц-карбонатную с адуляром и цеолитами.

Жильный кварц крупнозернистый, часто отмечается поперечно-шестоватое строение отдельных кристаллов, достигающих 5-10 см, текстура массивная, реже друзовая. Температура гомогенизации 320-440°, состав включений: среди катионов преобладают натрий, калий, кальций и магний. В составе газовой фазы установлены повышенные концентрации углекислоты и хлора, а также примеси азота и аммиака, pH 7,4.

Калиевый полевой шпат - ортоклаз неупорядоченной структуры, составляет зальбандовые части кварц-полевошпатовых жил. Содержание альбитовой фазы 30-35%. Минерал неоднороден по структуре, в небольшом количестве присутствует "низкий" альбит и менее упорядоченная, чем преобладающая, калишпатовая фаза.

Вольфрамит в составе кварцевых и кварц-ортоклазовых жил образует смоляно-черные кристаллы удлиненно-таблитчатой формы, часто клиновидного, лучистого и поперечно-шестоватого строения размером 2-5, реже 10-15 см. Распределение вольфрамитовых жил гнездово-вкрапленное. По химическому составу это ферберит с содержанием марганцевой составляющей 20%. Минерал характеризуется отсутствием примеси тантала, ничтожным содержанием примесей ниобия, скандия, висмута, никеля и циркония. Твердость колеблется от 345 до 511 кГ/мм<sup>2</sup>.

Олово-сульфидная минерализация в составе рудного штокверка является наложенной и локализована в пологопадающих жилах северо-восточного направления с интенсивно проявленной турмалинизацией и хлоритизацией вмещающих кварц-биотитовых метасоматитов.

Касситерит темно-коричневый до черного, крупнозернистый. Размер кристаллов 2-5 мм, габитус короткопризматический. Наиболее характерна тетрагональная пирамида {111}, подчиненное значение имеет дипирамида {231}. Преобладают грани дитетрагональных призм {230}, {120}, тетрагональная призма развита незначительно. Величина твердости варьирует от 1120 кг/мм<sup>2</sup> по краям кристалла до 1235 кг/мм<sup>2</sup> в центре зерен. Химическим и количественным спектральным анализом в касситерите установлены ничтожные примеси ниобия, скандия, циркония, а также примесь марганца в количестве 100-1000 г/т, вольфрама 2400-7600 и титана 800-2000 г/т. Примеси тантала и индия отсутствуют.

Габитус кристаллов, величина твердости, низкие содержания элементов-примесей ниобия, скандия, циркония, отсутствие тантала и индия характеризуют исследованные касситериты как типичные для оловорудных месторождений турмалинового типа Приморья, однако отсутствие примеси индия в них указывает на значительную глубину их формирования [3, 4, 8].

Отложение сфалерита связано с кварц-хлоритовой (сульфидной) стадией минералообразования. В парагенезисе с ним присутствуют пирротин и халькопирит. По составу основных компонентов исследованные образцы сфалерита относятся к марматиту с содержанием железа 14-15%, марганца 0,33-0,42, кадмия 0,27-0,29%. Они обогащены оловом, мышьяком, вольфрамом, медью и висмутом, что обусловлено примесью арсенопирита, касситерита, вольфрамита и халькопирита.

Высокая железистость, повышенное содержание марганца, индия, кадмия, отсутствие примеси сурьмы характеризуют исследованные сфалериты как высокотемпературные образования большой глубины [5; 6; 10, 12].

Геолого-структурные факторы локализации оруденения, а также минералого-геохимические критерии глубинности минерализации, установленные при исследовании состава минеральных парагенезисов, подтверждаются, что для олово-вольфрамовых месторождений Приморья штокверкового типа касситерит-вольфрамитовой субформации, подобных изученному, характерен большой вертикальный диапазон распространения оруденения на глубину, достигающий сотен метров.

#### Литература

1. Гинзбург А.И. Роль минералогических исследований в решении практических задач геолого-разведочной службы. - Развитие и охрана недр, 1971, № 4, с. 12-18.
2. Гинзбург А.И., Матиас В.В. Использование типоморфизма минералов в поисковых целях. - В кн.: Типоморфизм минералов и его практическое значение. М., 1972, с. 26-30.
3. Готман Я.Д. Типоморфные особенности касситерита оловорудных месторождений СССР. - Тр. ИГи. Сер. минералог., вып. 46, № 9, 1941, с. 63-94.
4. Долманова Е.И., Болыракая Р.В., Ракчеев А.Д., Яковлевская Т.А. Касситерит и его типоморфные особенности. - В кн.: Типоморфизм минералов. М., 1969, с. 128-134.

5. Иванов В.В. Геохимия рассеянных элементов в гидротермальных месторождениях. М., "Недра", 1966. 399 с.

6. Каншцева Л.И. Некоторые данные по распределению элементов-примесей в основных рудных минералах месторождения Нижнего (Фурмановский рудный район. Южное Приморье). - В кн.: Вопросы геологии рудных месторождений Дальнего Востока, 1971, с.49-56.

7. Никулин Н.Н. К вопросу об определении глубины формирования оловорудных тел по концентрациям индия в касситеритах. - В кн.: Генетические типы, условия образования и закономерности размещения месторождений олова и вольфрама северо-западного сектора Тихоокеанского рудного пояса. Владивосток, 1966, с.101-102.

8. Никулин Н.Н. Способ оценки оловорудных объектов касситерито-силикатной формации по элементам-примесям в касситеритах. - В кн.: Прогнозирование скрытого оруднения на основе зональности гидротермальных месторождений. М., 1972, с.59-60.

9. Осипова Г.А., Радкевич Е.А. и др. Геохимические критерии глубинности минерализации в некоторых оловянных и полиметаллических месторождениях Дальнего Востока СССР. Международный геологический конгресс XXIII сессия, проблема 7, эндогенные рудные месторождения. М., "Наука", 1968, с.136-145.

10. Прокопенко Н.М. Распространение индия в различных металлогенетических циклах СССР. - Докл. АН СССР, 31, № 1, 1941, с.19-21.

11. Четырботская И.И. Танталосодержащие вольфрамиты и касситериты. Геология рудных месторождений, № 3, 1966, с.45-49.

12. Шадул Т.Н., Добровольская М.Г. и др. Особенности сфалеритов свинцово-цинковых месторождений в карбонатных породах (Восточное Забайкалье). - В кн.: Типоморфизм минералов. М., 1969, с.15-48.

В.С. Джунь

#### КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ПО СТРУКТУРНЫМ ТИПАМ НА ПРИМЕРЕ МИНЕРАЛОВ, БЛИЗКИХ К КОЛУМБИТУ

Сопоставление характера изменения структурных параметров при изменении химического состава в пределах групп минералов с родственными структурами позволяет создавать кристаллохимические классификации, способствующие выявлению ранее неизвестных структурных типов. Такие классификации могут включать вакантные места, заполняемые по мере накопления нового фактического материала.

Одним из приемов классификации является построение упорядоченного ряда минералов с последовательным переходом от простых к более сложным по составу и структуре типам. В сложных системах от одномерной упорядоченности переходят к построению упорядоченных матриц.

Периодическая система элементов Д.И. Менделеева - классический пример классификации с упорядочением в двумерной матрице. Менее известно применение Д.И. Менделеевым двумерной матрицы для анализа закономерностей изменения состава и свойств при замещениях в "тодуольном ряду" (Научный архив Д.И. Менделеева, т.1).

Рассмотрим возможности двумерных матриц при кристаллохимическом анализе и классификации гомологического семейства структурных типов  $\alpha$ - $PbO_2$ , вольфрамита, уоджинита, иксиолита, колумбита. Для простоты сопоставления представим их состав общей формулой  $AB_2O_6$ . По кристал-

дохимическим свойствам элементы, входящие в рассматриваемые минералы, разбиваются на две группы - А и В. При этом более мелкие элементы группы В с высокой валентностью несут основную структуроопределяющую нагрузку. Некоторые элементы в связи с изменением степени окисления могут входить как в позиции А, так и в позиции В.

Особенность структурных типов в рассматриваемом гомологическом семействе минералов определяется способом распределения разнотипных катионов, их упорядоченностью.

Согласно второму правилу Полинга, для шести двухвалентных анионов и трех катионов различной валентности должно выдерживаться равенство

$$xW_A + (3-x)W_B = 12, \quad (1)$$

где  $W_A$  и  $W_B$  - средняя валентность элементов групп А и В;  $x$  - количество позиций, занятых элементами группы А.

В рассматриваемых структурах возможно наличие вакансий в позициях А при условии, что две из трех позиций заняты многовалентными элементами группы В. При этом уравнение (1) примет вид

$$xW_A + 2W_B = 12, \quad 1 > x > 2/3. \quad (2)$$

Перебор всевозможных комбинаций для катионов групп А и В с валентностью 1 - 6 показал, что уравнениям (1) и (2) отвечает ограниченное число соединений (структурных типов), общие формулы которых приведены ниже в матрице

		$W_A$			
$W_B$	1	2	3	4	
4	-	-	-	$A^{4+}B_2^{2+}O_6$ $B^{4+}O_2$ $\alpha-PbO_2$ , Брукит	
5	$A_{3/4}^{2+}B_{9/4}^{5+}O_6$ $(A^{1+}B^{5+})_2B^{5+}O_6$ Уоллунит	$A^{2+}B_2^{5+}O_6$ Колумбит $(A^{2+}B^{5+})_2B^{5+}O_6$	$A_{3/3}^{3+}B_{3/2}^{5+}O_6$ $A^{3+}B^{5+}O_4$ $A_{2/3}^{3+}B_{1/3}^{5+}O_6$	-	
6	$A_{5/5}^{1+}B_{9/5}^{6+}O_6$ $(A_{2/5}^{1+}B_{3/5}^{6+})_2O_2$ Иксиолит	$A_{3/2}^{2+}B_{3/2}^{6+}O_6$ $A^{2+}B^{6+}O_4$ Вольфрамит	$A_2^{3+}B^{6+}O_6$ "Обращенный колумбит"	-	

Из общих стехиометричных формул можно получить кристаллохимические формулы реальных минералов данного гомологического семейства, применяя известные схемы изо- и гетеровалентных замещений (Джунь, 1971).

В результате проведенного кристаллохимического анализа выявлено три ранее не рассматривавшихся структурных типа (их названия в матрице взяты в кавычки). Комбинация  $\beta$ -слоя октаэдров с двумя неупорядоченными  $(A, B)$ -слоями дает структуру  $(A, B)_2BO_6$ , названную нами "обращенным колумбитом". Упорядоченный в спаренных слоях октаэдров "обращенный колумбит"  $A_2BO_6$  может образовываться при преобладающей роли шестивалентных катионов в группе  $\beta$  и трехвалентных катионов в группе  $A$ . Колумбит с замещением позиций  $A$  на  $2/3$  трехвалентными катионами при образовании предельного количества вакансий в этих же позициях ("дефектный колумбит") может служить примером переходной модификации, в которой возможно моноклинное искажение, как у торолита. Не исключено, что среди минералов, химический состав которых отвечает торолиту, при меньшей степени окисления олова могут возникать структуры с вакансиями в позициях  $A$ . Если обозначить такие вакансии прямоугольником, то кристаллохимическую формулу при этом можно записать в виде  $Sn_{2/3}^{3+} \square_{1/3} Ta_2 O_6$ .

Перечисленные структурные разновидности и их производные могут быть найдены при детальном исследовании минералов, принимаемых за обычные колумбиты, вольфрамиты, уоджиниты, торолиты.

В рассматриваемом гомологическом семействе минералов при переходе от одного структурного типа к другому и при одинаковой их установке обнаруживается изменение значений параметров  $a$  и  $b$  приблизительно в 2 и 3 раза, в то время как у параметров  $c$  таких кратных целым числам изменений не наблюдается.

На основе отмеченной закономерности построена следующая матрица:

		$b_i/b_{i-1}$		
$\frac{a_i}{a_{i-1}}$	1	2	3	
	$\alpha-PbO_2$			Колумбит
1	Вольфрамит Иксоблит	(1-2)		"Обращенный колумбит" "Дефектный колумбит"
2	(2-1)	Уоджинит		(2-3)
3	"Дефектный колумбит" Торолит (?)	(3-2)		(3-3)

Свободные места в приведенной выше матрице ориентируют поиск новых структурных типов минералов, принадлежащих рассматриваемому гомологическому семейству. Например, место (1-2) в матрице может занять структурный тип, у которого параметр  $a$  соизмерим с колумбитом, а параметр  $b$

с уоджинитом; место (2-1) – структурный тип, у которого параметр  $a$  соизмерим с уоджинитом, а параметр  $c$  – с иксиолитом или вольфрамитом и т.д.

Сочетание параметров  $a$  и  $b$  различной кратности может подсказать вероятную модель структуры, отвечающей определенному вакантному месту рассматриваемой матрицы. Так, структура типа (1-2) может состоять из трех слоев октаэдров ABC. Изменение последовательности слоев с разнотипными катионами должно приводить к широкому проявлению политипизма в этом структурном типе.

Метод кристаллохимических сопоставлений структурных типов применим в различных гомологических семействах минералов. Например, при рассмотрении группы корунда-ильменита нами получена теоретическая формула типа  $A_{2/3}^{3+} \square_{1/3} B^{4+} O_3$ , которая должна соответствовать арizonиту, принимая во внимание его структурную близость с ильменитом. Как известно, состав арizonита  $Fe_2O_3 \cdot 3TiO_2$ , что отвечает кристаллохимической формуле  $Fe_{2/3}^{3+} \square_{1/3} TiO_3$ .

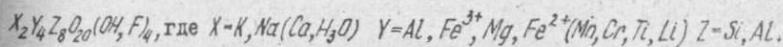
В заключение отметим, что термины типа "гомологический ряд минералов", "гомолого-морфотропический ряд минералов", значение которых часто расширяется для обозначения более сложного матричного упорядочения минералов, должны употребляться только при одномерном упорядочении изучаемых объектов. В противном случае более приемлемы, на наш взгляд, термины "гомологическое семейство минералов", "гомолого-морфотропическое семейство минералов".

И.В.Козырева

#### К ВОПРОСУ СИСТЕМАТИКИ "БЕЛЫХ" СЛЮД

Несмотря на широкую распространенность "белых" слюд в породах самого разнообразного типа и большое количество работ, посвященных им, в вопросах номенклатуры, структурных особенностей, полей устойчивости "белых" слюд многое не ясно. В настоящем исследовании основное внимание уделяется слюдам метаморфических пород с использованием материалов по слюдам других типов пород. Не рассматриваются литиевые слюды, занимающие особое положение и широко освещенные в ряде работ.

Под "белыми" слюдами понимается большое количество минералов группы слюды, светло-окрашенных, существенно диоктаэдрических, химический состав которых можно выразить следующей формулой:



Все эти признаки требуют уточнений и ограничений. Цвет слюд рассматриваемого сообщества может изменяться от действительно белого до светло-коричневого, розового, зеленоватого. Таким образом, название "белые" слюды не является удачным.

Обширный фактический материал, полученный к настоящему времени, свидетельствует в пользу того, что "белые" слюды диоктаэдрические и четко разграничиваются с полем триоктаэдрических слюд. В то же время отмечены богатые алюминием биотиты и "белые" слюды с избытком катионов в октаэдрах, не сопровождающимся дефицитом межслоевых катионов. В недавней работе Л.Ф.Сырцо и др. (1974) приводятся данные о слюде промежуточного ди-триоктаэдрического характера. Авторы многотомного издания по породобразующим минералам (Дир и др., 1966) считают, что "нет оснований предполагать невозможность существования слюд, у которых количество ионов  $Y$  на формальную единицу колебалось бы от 4 до 6". Однако специальные структурные исследования (Radoslovich, 1963) определяют возможность твердого раствора ди-триоктаэдрических слюд как крайне незначительную. Пока, по-видимому, можно считать диоктаэдричность надежным признаком "белых" слюд. Исключение составляет литиевые слюды, для которых устанавливается почти непрерывный ряд смешимости ди-триоктаэдрических разностей. Сказанное выше в равной степени относится и к выдержанности приведенной кристаллохимической формулы, особенно в отношении числа катионов группы  $Y$ . При рассмотрении формулы возникают также дополнительные сложности. Так, при расчете формул часто обнаруживается дефицит катионов группы  $X$ . Считается возможным, что их место в структуре занимают ионы оксония, реальность существования которого не вполне доказана, и двухвалентные катионы группы  $Y$ . Кроме того, доказана (на примере магниевых триоктаэдрических слюд) принципиальная возможность вхождения  $Mg$  в тетраэдры (Tateyama et al., 1976). Неясным остается структурное положение титана. В последнее время установилась тенденция помещать его в группу катионов  $Y$  (Cipriani et al., 1971; Kwak, 1968). Таким образом, коэффициенты в идеальной кристаллохимической формуле белых слюд, а также характер заполнения ее катионами носят весьма приблизительный характер и нуждаются в уточнении.

Номенклатура слюд. По химическому составу среди "белых" слюд выделяется большое количество разновидностей. Из них мусковит и парагонит — реально существующие минералы определенного химического состава, различающиеся характером межслоевого катиона (соответственно  $K$  и  $Na$ ). Сложное обстоит дело с богатыми  $Si$  слюдами, т.е. слюдами, отличающимися от идеального мусковита  $KAl_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$  в сторону увеличения содержания  $Si$ . Обычно это сопровождается замещением части октаэдрического алюминия на  $Mg$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  и (или) образованием дефицита межслоевых катионов. В ранних работах этим слюдам давались разные названия типа марипозит, адургит и др. Позднее они объединились под названием "высококремнистые серициты" (Schaller, 1950; Yoder, Eugster, 1957; Radoslovich, 1963). В последние два десятилетия за описываемыми слюдами утвердилось название "фенгиты", введенное Винчеллом (Winchell, 1927; 1949). Разнообразие возможных замещений в октаэдрической части



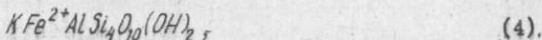
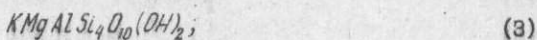
обусловило необходимость более дробного подразделения фенгитов. Кроме того, необходимо было установить границы колебаний составов.

При этом наметилось две тенденции. Согласно одной, в качестве противоположных по отношению к мусковиту конечных членов рядов выбираются сами фенгиты. У Винчелла — это пикрофенгит  $KMg_{0,5}Al_{1,5}Si_{3,5}Al_{0,5}O_{10}(OH)_2$  и феррофенгит  $KFe_{0,5}^{2+}Al_{1,5}Si_{3,5}Al_{0,5}O_{10}(OH)_2$ . Позднее Канегира и Банно (Kanegira, Banno, 1960) предложили выразить состав фенгитов в четырех конечных членах:

мусковит	$KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$ ;
ферримусковит	$KFe_{0,5}^{3+}Al_{1,5}Si_3AlO_{10}(OH)_2$ ;
фенгит	$K(Mg, Fe^{2+})_{0,5}Al_{1,5}Si_{3,5}Al_{0,5}O_{10}(OH)_2$ ;
феррифенгит	$K(Mg, Fe^{2+})_{0,5}Fe_{0,5}^{3+}AlSi_{3,5}Al_{0,5}O_{10}(OH)_2$ .

При таком способе выражения возможная степень замены  $Al$  на  $Si$  в тетраэдрах и  $Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}$  в октаэдрах строго ограничена. Кроме того,  $Mg$  и  $Fe^{2+}$  объединяются и в дальнейшем рассматриваются как единый компонент.

Вторая тенденция намечается в работах тех исследователей, которые рассматривают фенгиты как промежуточные члены ряда мусковит — четырехкремнистые слюды. Номенклатура четырехкремнистых слюд разработана недостаточно четко. Слюдю одного и того же состава в зависимости от генезиса называют селадонитом или глауконитом. Под термином "селадонит" Вайс и Кутстер (Wise, Eugster, 1964) объединяют всю группу четырехкремнистых слюд:



подчеркивая, что важнейшая из них первая. Многие авторы именно эту разновидность и называют селадонитом. Из указанных четырех членов группы специальное название "лейкофиллит" имеет также третий,  $Mg-Al$ , член группы. Природные четырехкремнистые слюды часто бывает в той или иной степени обогащены мусковитом или ферримусковитом. Вопрос о смеси в ряду мусковит — четырехкремнистые слюды остается открытым. Пока большинство данных как эмпирического, так и теоретического характера говорят о существовании разрыва в области  $Si_{3,5} - Si_{3,8}$ . В то же время единичные анализы (Keutz, 1965, и др.) попадают в указанную

область разрыва и, возможно, ее существование объясняется недостатком аналитического материала и редкостью соответствующих условий образования. Поэтому вряд ли можно считать приемлемой схему Канегира – Банно, где в качестве конечных членов принимаются составы с промежуточными величинами замещений.

Вторым существенным недостатком схемы Канегира – Банно является объединение  $Mg$  и  $Fe^{2+}$ . Наши исследования показали, что эти элементы часто ведут себя независимо в процессе замещения октаэдрического алюминия. Слюдь, богатые либо магнием, либо железом, характерны для разных условий метаморфизма. Целесообразно отдельно учитывать содержание всех четырех компонентов четырехкислородных слюд в составе фенгитов, т.е. рассчитывать миналы аналогично тому, как это делается для других минералов. При этом все четыре минала должны иметь собственные названия. Два из них:  $Mg-Fe^{3+}$  и  $Mg-Al$ , вошли в геологическую литературу под названиями соответственно селадонит и лейкофиллит. Для  $Fe^{2+}Fe^{3+}$  и  $Fe^{2+}Al$  миналов названия необходимо ввести.

Р – Т условия образования. Основными факторами, определяющими состав "белых" слюд в метаморфических породах, являются температура, давление, химический состав породы. Учесть воздействие этих факторов, часто разнонаправленное, трудно. Поэтому, многочисленные работы, посвященные связи условий образования и состава "белых" слюд, содержат нередко противоречивые выводы. В целом, однако, суммируя данные, полученные по разным регионам, а также результаты экспериментальных работ, можно наметить некоторые основные тенденции.

С увеличением температуры фенгитовость слюд падает и они по составу приближаются к чистому мусковиту (Lambert, 1959; Cipriani et al., 1971; Кориковский, 1973). Содержание натрия при этом сначала возрастает вплоть до кианит-алмадин-мусковитовой фации (Cipriani et al., 1971) или  $600^{\circ}$  в экспериментах Йодера и Югстера (Yoder, Bugster, 1957), а затем уменьшается. Содержание титана в "белых" слюдах с увеличением температуры возрастает (Kwek, 1968; Cipriani, 1971), что характерно, как известно, для целого ряда минералов метаморфических пород. Сведения об изменении окислительного потенциала противоречивы.

Мияширо (Miyashiro, 1962) первым обратил внимание на приуроченность фенгитовых слюд к метаморфическим породам серий высоких давлений. В дальнейшем это положение разрабатывал Вельд (Velde, 1964, 1965, 1967), особо подчеркивавший роль замещения кремнием тетраэдрического алюминия.

Влияние химического состава пород на состав "белых" слюд несомненно. Так, в эклогитах, породах, богатых натрием, появляется парагонит, в то время как в изофациальных по отношению к ним вмещающих породах – гнейсах, присутствует фенгит. Исключительно богатые натрием мусковиты формируется в породах с низким отношением  $Ca/Ca + Na$  (Poulsen, Kornprobst, 1974), которое благоприятствует образованию плагиоклаза. Однако химизм пород считается второстепенным фактором по

равнению с P-T условиями (Cipriani, 1971). Изученные нами олюды из пород станového комплекса, обнаруживая четкую зависимость по железистости от железистости пород, в целом остаются значительно более магнезиальными, чем олюды из пород серии Мойн при равной железистости пород и одинаковых парагенезисах.

Таким образом, фенгитовости след способствует уменьшение температуры и увеличение давления. Их разнонаправленное влияние приводит к устойчивости фенгитов в довольно широком диапазоне метаморфических пород. Это обстоятельство, а также рассмотренный выше многокомпонентный состав фенгитов вызвали необходимость поиска более тонких различий среди фенгитов в связи с условиями их образования. Для построения использованы литературные источники анализов след, качество которых можно считать удовлетворительным, а условия образования более или менее надежно определенными (Ernst, 1964; Broun, 1966; Butler, 1967; Craewer, Niggli, 1967; Schwander et al., 1968; Velde, 1970; Сырцо и др., 1974; Abraham et al., 1974). Приняв за основу содержание в слюдах кремния -  $3,1 - 3,6 \text{ \AA}$  форм. ед. прослежены вариации состава октаэдрических катионов. При этом выяснилось, что высокотемпературные фенгиты отличаются от низкотемпературных меньшими содержаниями кремния (больше тетраэдрического алюминия) при почти равном количестве шестерного алюминия, т.е. фенгитовость в тетраэдрах высокотемпературных след как бы "отстает" от таковой в октаэдрах. Баланс валентностей при этом поддерживается увеличением содержания многовалентных катионов: титана и окисного железа. Увеличение количества тетраэдрического алюминия с возрастанием температуры отмечается для многих алмосиликатов.

Самым информативным показателем давления при образовании фенгитов оказалась их магнезиальность, выраженная через отношение магния к сумме октаэдрических катионов. В качестве второй оси координат выбрано содержание четверного алюминия, взятое в абсолютной величине, поскольку сумма тетраэдрических катионов в ходе расчета формул строго постоянная. При этом на диаграмме отчетливо обособились три поля: I - маломagneзиальных след, соответствующих условиям низких давлений (граниты, пегматиты, жилы); II - след нормальной магнезиальности, в которых изоморфизм осуществляется по схеме  $Al_{IV} Al_{VI} = Si Mg$ , а метаморфизм соответствует условиям высоких давлений (5-8 кбар), и III - высокомагнезиальных след, сформированных в условиях очень высоких давлений (8-10 кбар).

Тот факт, что именно магнезиальная составляющая фенгитов играет определенную роль в условиях высоких давлений, находит объяснение в структурных особенностях "белых след", а именно влиянии изоморфных замещений в октаэдрах на параметры решетки.

Параметры решетки. Уже первые работы по структурному изучению след (Михеев, 1954; Redoslovich, Norrish, 1962) показали, что величина параметра  $b_0$  определяется характером катионов в октаэдрах. При замещении алюминия магнием и железом, т.е. при переходе к фенгитам, параметр

$b_0$  увеличивается, что в свою очередь вызывает разворот тетраэдров и сокращает межслоевое расстояние (параметр  $c_0$ ). Величина параметра  $b_0$ , прямо связанная с фенгитовостью, используется рядом авторов для создания геобарометров (Sassi, Scolari, 1974; Болтыров, Огородников, 1974, и др.).

Из трех элементов, замещающих Al в октаэдрах: Mg,  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ , самым маленьким по размерам атома является магний. Изучение параметров элементарных ячеек четырехкислородных слюд, т.е. конечных членов изоморфных рядов, показало, что замена одного атома алюминия на один атом магния почти не влияет на параметры  $a_0$  и  $b_0$ , но значительно уменьшает параметр  $c_0$  (Wise, Eugster, 1964, Seifert, 1968). Замена второго атома алюминия на трехвалентное железо увеличивает все параметры, хотя параметр  $c_0$  и остается меньшим, чем у чистого мусковита. В целом минимальный объем ячейки достигается для слюды Mg-Al состава.

Построенные нами графики зависимости параметров ячейки  $b_0$ ,  $c_0$  и  $V$  от доли Mg,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  в сумме октаэдрических катионов (для каждого катиона отдельно) для слюд структурного типа  $2M_1$  позволили сделать следующие выводы: 1) параметр  $b_0$  возрастает при увеличении доли как окисного, так и закисного железа; с увеличением доли магния параметр  $b_0$  сначала несколько возрастает, а затем также незначительно уменьшается; 2) параметр  $c_0$  не обнаруживает четкой зависимости от доли железа, но отчетливо уменьшается с увеличением доли магния (при равном количестве натрия); 3) отмечается прямая зависимость между объемами элементарной ячейки и долей  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ . При увеличении доли магния объем ячейки сначала возрастает, а затем уменьшается, достигая минимальной величины при самых высоких содержаниях магния. Инверсия в зависимостях  $b_0$  и  $c_0$  от  $Mg/\Sigma VI$  объясняется тем, что при малых количествах Mg существенное (и противоположное) влияние оказывают ионы  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ . Если бы это были не сложные, а чистые двухкомпонентные смеси, зависимость носила бы прямолинейный характер. Однако увеличение доли магния в отличие от  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  почти не изменяет параметра  $b_0$ , значительно сокращает параметр  $a_0$  и приводит к уменьшению объема элементарной ячейки.

На основании сказанного можно сделать следующие выводы:

1. Само понятие "белых" слюд, а в особенности фенгитов, не ограничено четкими условиями и требует уточнения.

2. Номенклатура фенгитов разработана недостаточно. Существующие способы выражения составов нельзя признать удовлетворительными. Наиболее целесообразно на данном этапе выразить состав фенгитов в соотношении минералов как трех-, так и четырехкислородных, каждый из которых должен иметь собственное название.

3. Составы фенгитов чутко реагируют на изменение P-T условий образования. В частности, доля магния в сумме октаэдрических катионов может служить хорошим показателем давления.

4. Высокая магнезиальность слюд, образованных при высоких давлениях, находит объяснение в особенностях их структур — образовании предельно малых объемов.

5. Необходимо подробное изучение фенгитовых слюд со стороны минералогии.

В.А.Супрычев, И.Г.Губанов

ОПЫТ СИСТЕМАТИКИ МИНЕРАЛОВ КРЫМА  
НА КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

В многочисленной литературе по минералогии и петрографии Крыма приводится описание или упоминание различных минералов, их разновидностей и разностей, изученных с неодинаковой степенью детальности. Некоторые минералы Крыма, описанные в работах XIX и первой половины XX ст., без достаточных оснований и ревизии упоминаются в современных минералогических заметках и статьях, хотя в последнее время существенно изменились и развились сами понятия минерального вида и внутривидовых категорий.

Нами предпринята попытка составить систематический список известных минералов Крыма. В основу понятий о фундаментальных объектах минералогии — минерале, минеральном индивиде, минеральном виде, разновидности и разности мы положили предложения Е.К.Лазаренко и И.С.Квитко, высказанные ими в докладе "О минералогической номенклатуре и терминологии" на съезде Всесоюзного минералогического общества в ноябре 1971 г., а также определение вида и внутривидовых понятий, данное А.С.Поваренных в монографии "Кристаллохимическая классификация минеральных видов" (1966 г.).

Список минералов Крыма составлялся на кристаллохимической основе с учетом представлений И.Костова (1971), Е.К.Лазаренко (1971), А.С.Поваренных (1962) и др. Нами использованы работы по минералогии Крыма А.Е.Ферсмана, П.А.Двойченко, С.П.Попова, М.Н.Шкабары, Н.В.Логвиненко, Е.Ф.Шникова, Ю.Ю.Юрка, Ю.С.Лебедева, П.И.Науменко, А.У.Литвиненко, М.Ф.Стащук, Ф.В.Чухрова, Н.Н.Макарова и многих других, а также результаты собственных минералогических исследований.

В список минералов Крыма не включены минеральные виды и разности, находки которых не подтверждены дальнейшими исследованиями или первоначальная диагностика их, основанная только на внешних признаках и кристаллооптических данных, вызывает сомнение. Это относится в основном к терригенным минералам осадочных пород (топаз, поллуцит и др.). В списке отсутствует антраксолит и гагат, не являющиеся минералами и характеризующиеся непостоянным отношением  $C:H:O$ . Недостаточно изученные и сомнительные минералы отмечены в списке знаком (?). В дальнейшем некоторые из них, вероятно, могут найти подтверждение при анализе конкре-

менными методами исследования, другие будут переведены из минеральных видов в ранг разновидностей или совсем будут изъяты из списка. Полиморфные модификации рассматриваются в качестве самостоятельных минеральных видов. Синонимы минеральных видов приведены в скобках, например: стильбит (десмин), синонимы разновидностей приведены через тире: (разновидность: филлипоит барниотый - уэльсит). Ниже приводится список минеральных видов, разновидностей и разновидностей, известных на территории Крыма к 1 мая 1977 г.

#### I. Тип простых веществ:

##### 1) Класс самородных металлов:

1. Медь. 2. Электрум (разновидности: золото, серебро).
3. Феррит (теллурическое железо) (?). 4. Метеорное железо.
5. Свинец.

##### 2) Класс самородных металлоидов:

1. Висмут.

##### 3) Класс самородных неметаллов:

1. Алмаз. 2. Графит. 3. Сера ромбическая.

#### II. Тип сульфидов и их аналогов:

##### 1) Класс сульфидов:

1. Халькозин. 2. Гидротроилит. 3. Пирротин. 4. Смайтит.
5. Мельниковит (грейгит). 6. Пирит. 7. Марказит. 8. Арсенопирит.
9. Сфалерит. 10. Гримоит (?). 11. Халькопирит. 12. Борнит (?).
13. Галенит. 14. Киноварь. 15. Метациннабарит. 16. Антимонит.
17. Аурипигмент. 18. Реальгар.

#### III. Тип кислородных соединений:

##### 1) Класс окислов:

1. Гидроксит (разновидность: лед пещерный). 2. Шпинель. 3. Хромит.
4. Магнетит. 5. Гематит. 6. Рутил. 7. Брукит. 8. Анатаз.
9. Пирролизит. 10. Корунд. 11. Ильменит.

##### 2) Класс гидроокислов и оксигидратов:

1. Гётит. 2. Гидрогётит. 3. Маггемит (?). 4. Манганит.
5. Диаспор. 6. Бёмит. 7. Гидраргиллит (?). 8. Псилломелан.
9. Гиббсит. 10. Рансёит (?). 11. Вернадит. 12. Тодорокит (?).
13. Лепидокрокит.

##### 3) Класс силикатов, алмосиликатов, боросиликатов:

###### а) Подкласс каркасных:

1. Кварц (разности: горный хрусталь, аметист, кварцин, агат, сердолик и др.). 2. Кристобалит (разновидность: луссатит). 3. Меланофлогит. 4. Плагноклазы (разновидности: альбит, анортит). 5. Санидин. 6. Ортоклаз. 7. Микроклин.
8. Анальцим. 9. Анальцим тригональный (лавананальцим).
10. Хабазит (разновидность: факолит). 11. Гмелинит. 12. Филлипоит (разновидность: филлипоит барниотый - уэльсит, крымскит).
13. Эпистильбит. 14. Сильбит (десмин). 15. Гейландит.

16. Пгаваралит. 17. Томсонит. 18. Сколецит. 19. Мезолит.  
20. Натролит. 21. Ломонтит. 22. Металомонтит (леонгардит).  
23. Гармотом (?). 24. Морденит. 25. Стеллерит (?). 26. Эри-  
онит (?). 27. Клиноптилолит.

б) Подкласс кольцевых:

1. Кордиерит. 2. Турмалин (разновидности: дравит, шерлит).

в) Подкласс островных:

1. Оливин. 2. Циркон-альмандин. 3. Гроссуляр-андрадит.  
4. Циркон. 5. Титанит (сфен). 6. Кванит (дистен).  
7. Андалузит. 8. Ставролит. 9. Везувиан. 10. Эпидот.  
11. Цоизит. 12. Мелилит. 13. Иддингсит (?).

г) Подкласс цепных:

1. Сильиманит. 2. Гиперстен. 3. Антофиллит. 4. Тремолит.  
5. Актинолит. 6. Энстатит. 7. Авгит. 8. Пиконит. 9. Диоп-  
сид. 10. Обыкновенная роговая обманка (каринит). 11. Ба-  
зальтическая роговая обманка (баркевикит). 12. Пальгор-  
скит.

д) Подкласс слоистых:

1. Хлоритид. 2. Каолинит. 3. Дижит. 4. Накрит (?).  
5. Галлуазит. 6. Гидромусковит (иллит). 7. Глаукоцит  
(разность: глаукоцит железистый - селадонит). 8. Тосудит.  
9. Монтмориллонит (разность: монтмориллонит железистый).  
10. Нонтронит. 11. Бейделлит (разность: бейделлит желези-  
стый). 12. Апофиллит. 13. Тальк. 14. Датолит. 15. Пренит.  
16. Пумпеллит (лотрит). 17. Мусковит (разность: серицит).  
18. Биотит. 19. Гидроферрихлорит. 20. Прохлорит. 21. Кли-  
нохлор.

4) Класс боратов:

1. Гидроборатит (?). 2. Пинноит. 3. Бура. 4. Кернит. 5. Тинкал-  
конит. 6. Боронатрокальцит (улексит). 7. Линебургит. 8. Пробе-  
рит. 9. Апарит.

5) Класс арсенатов:

1. Скородит (?).

6) Класс фосфатов:

1. Апатит (разность: колофан). 2. Карбонатапатит (подолит).  
3. Вивинит (разности: альфа-керченит, бета-керченит, гамма-  
керченит, оксикерченит, босфорит). 4. Анапат. 5. Авоскит.  
6. Боржикит (?). 7. Митридатит. 8. Фушерит (?). 9. Месселит.  
10. Файрфилдит (?). 11. Монацит. 12. Бобьерит (разность: бобье-  
рит железистый - энтеролит). 13. Тинтикит (?).

7) Класс сульфатов:

1. Тенардит. 2. Ангидрит. 3. Барит (разновидность: барит строн-  
цистый - целестин). 4. Алунит. 5. Ярозит (разность: ярозит

натристый). 6. Мирабилит. 7. Астраханит. 8. Гексагидрит (сакит). 9. Эпсомит. 10. Медантерит. 11. Сидеритил. 12. Алюминит. 13. Базальминит. 14. Пиккерингит. 15. Галотрихит. 16. Деконтит. 17. Копиапит. 18. Гипс (разности: гипс волокнистый).

8) Класс карбонатов:

1. Кальцит (разности: исландский шпат, кальцит волоконный и др.). 2. Арагонит. 3. Родохрозит (разности: родохрозит кальцистый, родохрозит железистый - понит). 4. Стронцианит. 5. Доломит. 6. Анкерит. 7. Малахит. 8. Азурит. 9. Сода. 10. Термонатрит. 11. Трона. 12. Сидерит (разности: сидерит магнистый - сидероплезит, сидерит марганцовистый - олигонит).

9) Класс нитратов:

1. Натриевая селитра (?). 2. Калиевая селитра.

IV. Тип галоидов:

1) Класс хлоридов:

1. Галит. 2. Бишофит.

2) Класс фторидов:

1. Флюорит. 2. Ральстонит (?).

С развитием минералогических исследований список минералов Крыма будет постоянно пополняться. В настоящее время не изучена минералогия карбонатных карстовых пещер Горного Крыма, где можно предполагать возможность открытия новых минералов. Новые для Крыма минеральные виды могут быть обнаружены в почвах, различных гипергенных новообразованиях, в донных отложениях соленых озер, в гидротермалитах. В скором времени будет увеличен список минеральных видов группы цеолитов, классов боратов, фосфатов и сульфатов. В предлагаемом списке приведено всего лишь 6 минеральных разновидностей и 28 минеральных разностей. В связи с развитием регионально-минералогических исследований на современном уровне число их возрастает. Распределение минеральных видов Крыма по типам и классам приводится в следующей таблице:

Тип	Класс	Общее количество установленных минеральных видов	Число сомнительных и плохо изученных минеральных видов
I	1. Самородные металлы	4	1
	2. Самородные металлоиды	1	-
	3. Самородные неметаллы	3	-
II	1. Сульфиды	16	2
III	1. Окислы	10	-
	2. Гидроокислы и оксигидраты	10	4
	3. Силикаты, алтмосиликаты	69	6
	4. Бораты	8	1
	5. Арсенаты	-	1
	6. Фосфаты	9	4
	7. Сульфаты	18	-



Тип	Класс	Общее количество установленных минеральных видов	Число сомнительных и плохо изученных минеральных видов
	8. Карбонаты	12	1
	9. Нитраты	1	1
IV	1. Хлориды	2	1
	2. Фториды	1	1
Итого:		164	21

На территории Крымского полуострова в магматических породах, в осадочном чехле и метаморфическом фундаменте в настоящее время известно 185 минеральных видов, из которых 22 вида нуждаются в уточнении и дополнительном исследовании. За годы Советской власти в Крыму открыто и описано, по нашим подсчетам, не менее 120 минеральных видов. Такие минералы, как тосудит, митридатит, азовскит впервые установлены в Крыму и дополнили реестр минералов мира. Здесь же впервые открыты такие минеральные разновидности, как керчениты, босфорит, крымскит и др. Некоторые из минеральных видов Крыма (датолит, гмелинит, игаваралит, меланофлогит, тинкалкониит и др.) впервые найдены на территории СССР.

Крым не случайно называют "природным минералогическим музеем", учебным полигоном для проведения геологических практик студентов вузов. По числу известных минеральных видов, разновидностей и разновидностей Крымский полуостров превосходит даже всемирно известный Ильменский минералогический заповедник на Среднем Урале, где достоверно зарегистрировано около 130 минеральных видов.

Предлагаемый систематический список минералов Крыма представляет собой лишь первый опыт классификации крымских минералов на кристаллохимической основе. Однако и в таком приближенном виде он представляет не только познавательный и научный интерес, но и может использоваться преподавателями вузов при проведении учебной геологической практики в Крыму и применяться при составлении региональных минералогических сводок и учебных пособий.

В.С.Тарасенко, Д.Д.Бойко, Ю.А.Полканов

#### О НОМЕНКЛАТУРЕ ПРОДУКТОВ ГИПЕРТЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ИЛЬМЕНИТА

Ильменит и продукты его изменения — основные промышленные минералы титана. Они широко представлены в месторождениях различного генезиса: коренных, коре выветривания, в континентальных и прибрежно-морских россыпях. Важное промышленное значение указанных минералов в значительной мере обусловило их интенсивное изучение, особенно с 50-х годов нашего века.

В связи с отсутствием единства в определении понятий, касающихся продуктов и процессов изменения ильменита, назрела настоятельная необходимость в выработке единой номенклатуры и в упорядочении соответствующей терминологии. Наша работа основана на изучении химического и фазового состава ильменита и продуктов его изменения из пород Украинской титанорудной провинции.

Рассмотренные ниже данные получены при изучении ильменита и продуктов его изменения из габброидов Волны (габбро, габбро-анортозиты, габбро-перидотиты, троктолиты и др.) и коры их выветривания с использованием материала по континентальным россыпям этого района и по прибрежно-морским отечественным (Приднепровье, Казахстан и др. регионы) и зарубежным (Индия, Шри-Ланка, Египет и др.) россыпям.

Исследованный материал позволил проследить преобразование состава и свойств ильменита в направлении: плотные коренные породы — дезинтегрированные породы — кора выветривания (от нижней к верхней зоне) — континентальные россыпи (аллювиально-делювиальные — аллювиальные) — прибрежно-морские россыпи.

Ильменит исходных материнских пород характеризуется достаточно постоянным химическим составом (близким к теоретическому), стандартными рентгеновскими характеристиками и однородным (в пределах отдельных индивидов и между индивидами) внутренним строением и физическими свойствами (отражательная способность, цвет, плотность, твердость, электропроводность и др.).

При выветривании изменяется химический состав и физические свойства ильменита. Возрастает количество  $TiO_2$  и  $Fe_2O_3$ , уменьшается  $FeO$ . Цвет изменяется от черного через коричневый до желтоватого; плотность уменьшается до 3,7–3,8 г/см<sup>3</sup>; показатели отражения увеличиваются с 15–19 до 25–30% и т.д.

Уже на начальных стадиях изменения минеральные индивиды становятся неоднородными, что наглядно проявляется в распределении окраски и внутренних рефлексов в пределах отдельных зерен (пятнистое, зональное, полосчатое распределение). С усилением изменения появляется фазовая неоднородность, наиболее надежно фиксируемая по дифракционным картинкам, выявляемым рентгеновским методом (ослабевают, а затем и исчезают ключевые отражения ильменита, появляются и постепенно усиливаются характерные линии рутила и т.д.). Наличие рутиловой фазы в измененном ильмените установлено и прямыми наблюдениями с помощью электронного микроскопа.

Единой терминологии в наименовании продуктов и процессов изменения ильменита нет. Преобразование ильменита определяют как "рутилизация", "лейкоксенизация", "изменение", "выветривание". Шире применяются термины "изменение", "лейкоксенизация", "выветривание", употребляемые в одинаковом смысле и более емкие, чем понятие "рутилизация".

Ильменит изменяется постепенно, без резких скачков. Многие исследователи отмечают стадийность процесса, но без четких границ между стадиями. Стадийность различие авторы трактуют по-разному (Зив, Абулевич, Дядченко, Цимбал, Бейли и др.). Среди продуктов изменения большинство авторов выделяет измененный ильменит как промежуточный продукт изменения и лейкоксен, рассматриваемый как конечный продукт изменения ильменита. В результате дальнейшего глубокого преобразования (в частности, перекристаллизации) лейкоксена может возникнуть вторичный рутил (анатаз, брукит). Таким образом, обычное преобразование ильменита можно представить следующим образом: ильменит  $\rightarrow$  измененный ильменит  $\rightarrow$  лейкоксен  $\rightarrow$  вторичный продукт.

За продуктами гипергенного изменения ильменита целесообразно сохранить, по нашему мнению, традиционно выделяемые и широко используемые не только в минералогии, но и в обогащении и металлургии названия "измененный ильменит" и "лейкоксен" с уточнением границы между ними на основе учета не только качественных, но и количественных различий. Возникает необходимость и объективной количественной оценки степени измененности ильменита. Такая оценка, кроме ее теоретического значения для подразделения продуктов изменения переменного состава, необходима и при определении качества сырья на различных стадиях геологоразведочных и технологических работ.

В вопросе о границе между "ильменитом", "измененным ильменитом" и "лейкоксеном" единого мнения нет. Некоторые исследователи выделяют слабо измененный, измененный и сильно измененный ильменит, другие — только слабо и сильно измененный, не разграничивая их на количественной основе (Жердева, Абулевич, 1964, и др.).

Указанные задачи можно решать на основе рассмотрения фазового состава продуктов изменения ильменита. Неизмененный минерал представлен практически только ильменитовой фазой (в реальном ильмените содержится также небольшая примесь гейкилитовой и пирофанитовой молекул); измененный ильменит является смесью ильменитовой и рутиловой кристаллических фаз с рентгеноаморфными окислами железа; в лейкоксене присутствует рутиловая фаза и рентгеноаморфная окись железа.

Анализ тройной диаграммы фазового состава продуктов изменения ильменита, построенной в координатах  $Fe/Mg, Mn/2TiO_3 - TiO_2$  свободная (рутил) -  $Fe_2O_3$ , позволил выделить в ходе процесса изменения ильменита два четко выраженных этапа (Кашкаров, Полканов, 1976). На первом этапе постепенно окисляется и выщелачивается железо, что сопровождается уменьшением содержания ильменитовой фазы и образованием новых фаз  $TiO_2$  и  $Fe_2O_3$ . Этот этап завершается исчезновением ильменитовой фазы. Следующий, второй этап изменения, сопровождается выщелачиванием железа и перекристаллизацией  $TiO_2$ .

Измененным ильменитом целесообразно именовать продукты изменения, образовавшиеся на первом этапе и содержащие ильменитовую фазу. К лейко-

ксену следует относить продукт изменения, возникший в ходе второго этапа и не содержащий ильменитовой фазы. При почти полном выносе железа и перекристаллизации лейкоксена образуется вторичный рутил.

Количественную оценку степени измененности удобно проводить с использованием предложенных ранее (Кашкаров, Полканов, 1976) показателей:

1) степень изменения — показывает долю изменившейся части ильменита в процентах относительно первоначального количества неизменного ильменита:

$$C_{изм} = 100 - \frac{111,4\alpha}{\beta},$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — содержание  $FeO$  и  $TiO_2$  в исследуемом ильмените;

2) степень сохранности — характеризует долю сохранившейся фазы ильменита от первоначального количества:

$$C_{сохр} = \frac{111,4\alpha}{\beta};$$

$$C_{сохр} + C_{изм} = 100\%.$$

В более строгих расчетах учитывается наличие гейкилитовой и пиррофанитовой фаз.

Граница между измененным ильменитом и лейкоксеном четко видна на диаграмме фазового состава продуктов изменения ильменита. Практически к неизменному и слабо измененному следует относить ильменит со степенью сохранности более 90%, к измененному ильмениту — со степенью изменения от 10 до 95% (сохранность 90–5%); к лейкоксену — продукт изменения ильменита со степенью сохранности до 5%. Последний содержит обычно менее 2%  $FeO$  и обладает очень слабыми магнитными свойствами.

Благодаря наличию тесной корреляции между составом, различными свойствами и измененностью ильменита, можно количественно оценить степень изменения, используя эту взаимосвязь.

Упорядочение номенклатуры продуктов гипергенного изменения ильменита и введение соответствующих количественных показателей оценки степени изменения будет способствовать более объективной оценке ильменитового сырья и сопоставлениям при различного рода геологических работах (определение источников сноса россыпного материала, корреляция "немых" толщ и т.д.).

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗНОВИДНОСТИ ГЕМАТИТА,  
НОМЕНКЛАТУРА, ТЕРМИНОЛОГИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ  
НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УКРАИНСКОГО ШИТА

Гематит характеризуется многообразием форм нахождения, определяющихся его генезисом (П.Рамдор, А.Г.Бетехтин, Е.К.Лазаренко и др.). Особенно большое разнообразие морфологических разновидностей гематита известно на железорудных месторождениях докембрия, в том числе на Украинском щите, где они в разное время изучались И.И.Танатаром, Ю.Г.Гершойгом, Ю.Ю.Юрком, Е.Ф.Шинковны, Л.Я.Ходш, Б.И.Пироговым, В.М.Кравченко, Р.А.Частий и др.

Разнообразие форм гематита обусловлено длительной и сложной историей геологического формирования докембрийских железных руд, протекавшего в несколько этапов — литогенеза, метаморфизма и постметаморфогенного рудогенеза. В связи с этим морфологическая классификация гематита приобретает генетическое содержание и может быть названа морфогенетической.

Форма развития гематита и характер его сростаний с другими минералами влияет на качество богатых и легкообогатимых железных руд.

На железорудных месторождениях докембрия Украины — Криворожском, Кременчугском, Белозерском и других, гематит представлен тремя генетическими типами: метаморфизованным осадочным или сингенетическим, метасоматическим и эпигенетическим пострудным.

Метаморфизованный осадочный гематит образовался в стадии седиментогенеза — диагенеза. Он представлен субграфической железной слюдой и эмульсиевидным гематитом. Первая характеризуется пластинчатой формой развития, рваными зазубренными краями пластинок и неориентированным их расположением, второй отличается очень мелкими размерами в микронах, округлой формой микрокристалликов, обусловленной развитием в них граней ромбоэдра и бипирамиды при слабом развитии пинакоидов. Эмульсиевидный гематит образует микровключения в зернах кварца, окрашивающие кварцевые слои железистых кварцитов в сургучно-красный цвет.

Метасоматический гематит образовывался в постметаморфогенный этап при окислении и замещении магнетита с образованием маргита или крупнопластинчатой железной слюдки — спекулярита, и магнезиально-железистых карбонатов с образованием дисперсного гематита. Псевдоморфозы маргита имеют сложное строение: они состоят из тесно примыкающих друг к другу табличек или зерен, устанавливаемых под микроскопом в отраженном свете при скрещенных николях. Соответственно выделяются решетчатая и пятнистая разновидности маргита. Маргит в окисленных железистых кварцитах плотный, с незначительной пористостью, содержит микровключения кварца. В богатых железных рудах саксаганского типа маргит микропористый, при этом поры

Морфологическая классификация гематита

Морфологические разновидности	Разности	Агрегаты
Железная слюдка (зерна листоватые, таблитчатые, чешуйчатые)	Субграфическая (с изрезанными краями чешуек) Ланцетовидная (с ровными заостренными краями чешуй) Спекуляритовая (крупно-таблитчатая, зеркальная)	Железный блеск, железные розы (структура кристаллическая, блеск сильный металлический)
Мартит (псевдоморфоза по магнетиту)	Решетчатый мартит (в скрещенных николях структура решетчатая) Пятнистый мартит (то же, структура пятнистая)	Синий железняк, "синька" (окраска синеватая, блеск слабый металлический)
Эмульсионный гематит (микрорезистентный) (микрорезистентные округлые включения)		
Дисперсный гематит (скрипосталлический)	Микрочешуйчатый дисперсный гематит  Микрочешуйчатый дисперсный гематит	Красный железняк (плотные агрегаты, блеск матовый) Оолитовый красный железняк (концентрически-скорлуповатый) Красная стеклянная голова (натечные агрегаты) Охристый красный железняк (землистые агрегаты) Железная "сметана" (агрегаты, жирные на ощупь)

образуются главным образом за счет выщелачивания микровключений кварца, но не в связи с выносом части двухвалентного железа из решетки магнетита, в чем некоторые исследователи видят сущность процесса мартитизации. Спекуляритовая железная слюдка возникает при окислении и перекристаллизации магнетита по зонам тектонических нарушений. Спекулярит крупнопластинчатый, с зеркальной поверхностью, пластинки часто изогнуты, для них характерны полисинтетические двойники в одном или двух направлениях; в них нередко сохраняются реликты магнетита. Спекулярит, образовавшийся в неокисленных железистых кварцитах, унаследует в окисленных кварцитах и в богатых железных рудах. Дисперсный гематит представлен плотными землистыми и микрочешуйчатыми агрегатами, жирными на ощупь, именуемыми соответственно красным железняком, охрами и железной "сметаной". В железистых кварцитах дисперсный гематит образует псевдоморфозы по карбонатам железа.

Эпигенетический гематит образуется в богатых железных рудах после их формирования и представлен несколькими разновидностями железной слюдки: ланцетовидной, каркасной, пакетовидной, цементационной, тонкочешуйчатой. Каждая из этих разновидностей имеет свой генезис. Ланцетовидная железная слюдка возникла в зонах эпигенетического окварцевания. Она имеет удлиненную форму чешуек и ровные заостренные края; цементируется жильным кварцем. Каркасная железная слюдка происходит при перекристаллизации эмульсионного гематита, освободившегося из кварца в процессе выщелачивания последнего при оруденении. Она образует сетчатый каркас из неориентированных удлиненных чешуек, скрепляющих зерна мартита и увеличивающих крепость и кусковатость руды. Пакетовидная железная слюдка образуется при расщеплении зерен мартита под влиянием давления на пакеты железной слюдки, в определенной степени сохраняющих контуры исходных зерен мартита. Края чешуек в такой слюдке обрубленные. Цементационная железная слюдка возникает в результате естественного роста табличек гематита, слагающих мартит, за пределы его граней, при этом чешуйки растут за счет железа, освобождающегося при переходе магнетита в гематит (около 2%). Тонкочешуйчатая оранжево-красная железная слюдка образуется при уплотнении и перекристаллизации дисперсного гематита. Она очень тонкочешуйчатая, имеет стеклянный блеск и просвечивает оранжево-красным цветом. В массе красная железная слюдка жирная на ощупь и с некоторым приближением может именоваться железной "сметаной". Иногда чешуйки выстилают поры и каверны в дисперсногематит-мартитовых рудах.

На основании детального исследования гематита из докембрийских руд Украинского щита и по литературным данным о гематитах из других месторождений приводится морфологическая классификация этого минерала в виде таблицы.

Г.К.Еременко, Ю.А.Полканов

#### СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МИНЕРАЛАХ УГЛЕРОДА

В связи с расширением объектов минералогического исследования (космическая минералогия, метеоритные кратеры), развитием методов исследования и синтеза минерального сырья получено много новых данных о минералах углерода. Выявлены новые, ранее неизвестные в природе фазы, более полно изучены хорошо известные, уточнены P-T области стабильности.

В системе углерода достоверно известны следующие фазы (см. таблицу).

За исключением С металлического все указанные фазы известны в природе, т.е. представляют собой минералы. Недостаточно доказанные фазы, не встреченные пока в природных ассоциациях: кубический графит, тетрагональный углерод, углерод VI.

Фаза	Сингония	Пространственная группа	Параметр ячейки		Плотность г/см <sup>3</sup>
			$a_0, \text{Å}$	$c_0, \text{Å}$	
Графит	2H гекс.	$D_{6h}^2 - C6_3/mmc$	2,47	6,70	2,09-2,23
	3R триг.(ромб)	$D_{3d}^3 - R3m$	2,47	10,06	2,09-2,23
Алмаз	3R куб.	$O_h^3 - Fd3m$	3,55		3,5
Лонсдейлит	2H гекс.	$D_{6h}^2 - P6_3/mmc$	2,51	4,12	3,5
$\alpha$ -карбин	гекс.		8,92	15,36	2,67 (расч.)
$\beta$ -карбин	гекс.		8,24	7,68	3,11 (расч.)
C металл.	куб. (к.ч.8)				

В последние годы существенно уточнена фазовая диаграмма углерода. Много нового дало интенсивно ведущееся изучение синтеза алмаза, эксперименты с использованием экстремально высоких давлений и температур (ударные волны), изучение некоторых минералообразующих процессов. Наиболее слабо изученными остаются окрестности тройных точек графит - алмаз - жидкость, графит - жидкость - пар. Новые геологические данные показывают, что параметры, отвечающие указанным точкам, вполне достижимы в природе.

Графит известен в двух политипных модификациях: - гексагональной с упаковкой типа ...АВАВАВ... и тригональной (ромбоэдрической) с упаковкой типа ...АВСАВС... Последняя присутствует обычно в виде незначительной примеси среди преобладающей в количественном отношении гексагональной.

Графит имеет трехмерноупорядоченную структуру, степень совершенства которой во взаимном наложении слоев увеличивается по мере усиления метаморфизма.

Следует упомянуть также о турбостратных графитоподобных структурах, образовавшихся как промежуточные формы при графитизации в некоторых уникальных минералообразующих процессах. Это углеродные структуры, состоящие из графитоподобных сеток, составляющих пакеты. Гексагональные сетки в таком углероде не идеально периодичны, а искажены и деформированы, упаковке слоев присущ беспорядок смещения и беспорядок вращения относительно нормали к слою. Характеристиками являются значения межслойного расстояния, степень графитизации, высота и диаметр когерентных слоев.

Клифтонит, выделяемый некоторыми авторами как характерный для метеоритов минерал углерода, представляет собой поликристаллический агрегат графита.

Алмаз (сфалеритоподобная-3R трехслойная упаковка типа ...ААВСС...) благодаря своим уникальным свойствам изучался более интенсивно, чем какой-либо другой объект минералогии.

Не так давно считалось, что в природе алмаз кристаллизуется исключительно из пересыщенного углеродом расплава при минимальных давлениях



50–60 кбар (по некоторым оценкам до 40), теперь же обнаружены прямые твердофазовые превращения графита в алмаз, происходящие при импульсных нагрузках большой амплитуды.

С развитием методов исследования получено много новых данных о форме и характере вхождения примесей, структуре реальных кристаллов, условиях образования алмаза. Если из посторонних примесей в алмазе эндогенного происхождения основную роль играет азот, содержание которого (до 0,25 ат.%) по крайней мере на два порядка выше, чем содержание других примесей (алмазы с низким содержанием азота исключительно редки), то фундаментальной особенностью алмаза, образовавшегося из графита, является отсутствие азота. Для этих алмазов характерна также поликристалличность, малые размеры блоков мозаики и столь высокая плотность дислокаций, какие наблюдаются только в сильно наклепанных металлах.

Особое внимание привлекают алмазы, происходящие из некимберлитовых источников.

Лонсдейлит (или гексагональный алмаз) имеет гексагональную структуру с двуслойной (вирцитоподобной 2H) упаковкой типа ...AABVAABV... В природе и при синтезе образуется в результате прямого твердофазового перехода графит – алмаз в динамических условиях. Надежный индикатор ударного метаморфизма всегда находится в тесных срастаниях с графитом и алмазом.

Работами последних лет на диаграмме состояния углерода намечена (пока предварительно) область стабильности этой структуры. Доказано, что лонсдейлит образуется (в равных давлениях) при более низких температурах, чем алмаз.

В минералогической литературе имеются разночтения в произношении и написании названия минерала: лонсдэлит, лонсдалит, лонсдалиит. Поскольку это перевод с английского, правильным, очевидно, будет звучание, точно соответствующее английскому произношению слова lonsdaleite – лонсдейлит (английское "a" в открытом слоге читается как "эй", суффикс ite не меняет произношения основы).

Некоторые авторы считают, что лонсдейлит – политипная модификация, однако данные прямых наблюдений (электронная микроскопия, электронная дифракция) показывают, что это самостоятельный полиморф.

Карбин – общее название недавно открытых аллотропных форм углерода – пространственных линейных полимеров с валентным углом  $180^\circ$  и большой величиной межатомного взаимодействия в цепи, построенных из цепочек полииногого ( $-C\equiv C-$ ) и кумуленового ( $=C=C=$ ) типа. Известны две формы карбинов: менее плотный  $\alpha$ -карбин и более плотный  $\beta$ -карбин. В природе карбин в виде смеси этих форм впервые был обнаружен в импактилах кратера Рис и описан под названием "чаоит". Это название следует сохранить лишь как определяющее смесь карбиновых фаз.

В некоторых работах карбин трактуется как результат неправильной расшифровки дифракционных картин, а появление "чужих" линий – двойной

дифракцией на двойниковых границах. Однако аналогия с системой бор – азот, в которой карбиноподобные соединения хорошо известны, а также данные электронно-микроскопического изучения карбина показывают ошибочность таких представлений.

Условия образования карбина в природе – сублимация графита при экстремально высоких температурах; абляциянные процессы, взрывы при падении метеоритов. Тройная точка графит – алмаз – карбин имеет параметры 4000 К, 120 кбар.  $\beta$ - карбин получен из  $\alpha$ - карбина при давлении 90 кбар и температуре 1800 К.

Успешный синтез и выявление в природных условиях лонсдейлита и  $\alpha$ - и  $\beta$ - карбина за прошедшие 15 лет удвоили количество известных минералов углерода, значительно расширив наши представления об их распространенности, свойствах и условиях образования. Характерно, что в некоторых первичных природных ассоциациях минералы углерода присутствуют в виде сложных поликристаллических и полифазных сростков. Сложность изучения таких образований очевидна.

Есть основания ожидать, что в недалеком будущем список минералов углерода будет пополнен новыми минеральными видами и разновидностями.

Е.К.Лазаренко

#### СХЕМА ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МИНЕРАЛОВ

Наблюдения и опыты показывают, что ведущее начало в минералогии – генетическое, т.е. генезисом минералов определяется особенности их структуры, морфологии, химического состава и физических свойств. Однако все указанные основные атрибуты минерала не являются пассивными по отношению к генезису. Основные принципы современной минералогии – кристаллохимический и генетический, находятся во взаимодействии и взаимовлиянии. Следовательно, между собой взаимосвязаны и атрибуты минерала и его генезис, но все же в этой взаимосвязи и взаимовлиянии главная роль принадлежит генетическому принципу, так как в факторах минералообразования проявляются все кристаллохимические и генетические особенности минералов.

Соотношения между генезисом минералов и его основными атрибутами показаны на рисунке, где приведен также перечень основных методик исследования\*.

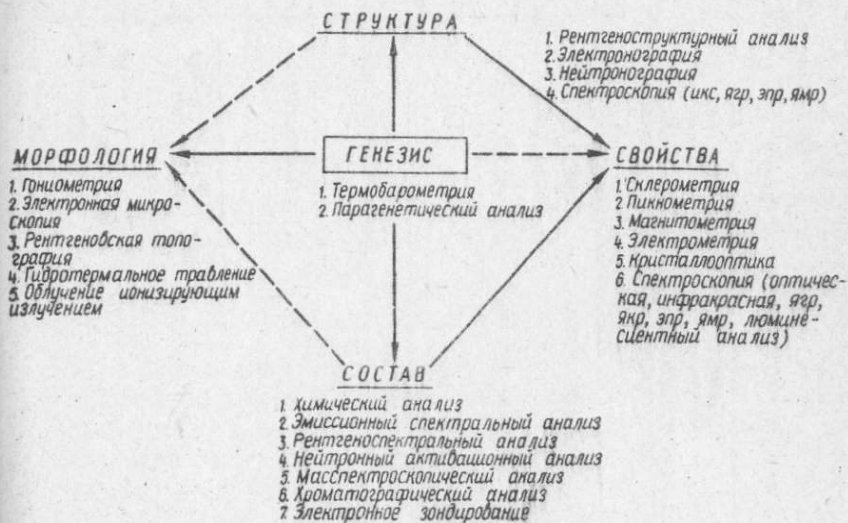
Строго научная классификация минералов требует, чтобы в ее основу был положен наиболее существенный признак, который определял бы другие признаки минералов. Таковым является генезис минералов. Поэтому в настоящее время назрела необходимость создания генетической классификации

\* Сплошными стрелками на рисунке показаны непосредственные, главные зависимости.

минералов, которая отражала бы связь их химического состава и физических свойств с геологическими процессами, в которых они формировались.

Первая и почти единственная попытка создания генетической классификации минералов принадлежит А. Лаппарану (1884 г.), которую он называет "Новым методом". При построении своей классификации А. Лаппаран исходит из геологических предположений того времени о строении Земли и разделяет все минералы на четкие группы: 1) минералы шлакования; 2) химического осаждения; 3) извержения и 4) органического происхождения.

Определенный генетический смысл вкладывает в свои классификации



Соотношения между генезисом минералов и его основными атрибутами.

в.С.Соболев (1948 г.) и И.Костов (1950 г.).

В основу предлагаемой классификации, которую мы называем генетической, положена минералогическая модель Земли, процессы минералообразования, эволюция минеральных комплексов и их классификация (табл. I), парагенетические ассоциации минералов, а также их кристаллохимические особенности.

В соответствии с этим весь минеральный мир разделяется на четыре типа: 1) эндогенный; 2) экзогенный; 3) космогенный; 4) техногенный. В пределах типов выделяются подтип, классы, подклассы, семейства, ряды, группы и виды.

## Классификация минеральных комплексов

Тип	Подтип	Класс	Подкласс	Семейство	
I. Эндогенные	I. Горные породы	1. Магматогенные (изверженные)	1. Интрузивные	1. Кислые	
			2. Эффузивные	2. Средние	
					3. Основные
					4. Ультраосновные
		2. Метаморфогенные	1. Контактные		Роговики
	2. Региональные			1. Сланцы	
					2. Гнейсы
					3. Гранулиты
					4. Кварциты
					5. Мраморы
				6. Амфиболиты	
				7. Серпентиниты	
	2. Минеральные месторождения	1. Магматогенные	1. Собственно-магматогенные	1. Ликвационные	
				2. Раннемагматические	
				3. Позднемагматические	
				4. Карбонатитовые	
			2. Пегматогенные	1. Гранитных магм	
				2. Щелочных магм	
				3. Основных и ультраосновных магм	
			3. Пневматогенные	1. Вулканические экзгальции	
		2. Собственно пневматогенные			
		3. Скарновые			
		4. Альбититовые-грейзеновые			
		Эндогидатогенные	1. Плутоногенные		
			2. Вулканогенные		
			3. Амагматогенные		
			4. Вулканогенно-седиментогенные		
		2. Метаморфогенные	1. Собственно-метаморфогенные	1. Регионально-метаморфогенные	
			2. Метаморфогенно-преобразования	1. Космогенно-метаморфогенные	
III. Экзогенные	I. Горные породы	1. Седиментогенные	1. Механогенные	1. Пелиты	
				2. Алевриты	
				3. Псаммиты	
				4. Псефиты	
			2. Хемогенные и биохемогенные	1. Силициты	
				2. Известняки	
				3. Доломиты	
				4. Гипсы	
				5. Ангидриты	
		2. Минеральные	2. Вулканогенно-седиментогенные		1. Туффиты и их разновидности
	1. Гипергенные			1. Остаточные	
				2. Инфильтрационные	
	2. Минеральные	2. Седиментогенные	1. Механогенные	1. Россыпные	
				2. Переотложенные	
			2. Хемогенные	1. Галогенные	
			3. Биохемогенные		
			4. Вулканогенные		

## Схема генетической классификации минералов

Тип	Подтип	Класс	Подкласс	Отдел	Семейство	Ряд	Группа	В и д		
								Название	Типоморфные особенности	
I. Эндогенный	I. Магматогенный	I. Собственно-магматогенный	I. Ультраосновных и основных пород	I. Породообразующих минералов			I. Оливина	I. Форстерит	Содержание форстеритовой составляющей от 82-93% (дуциты, перидотиты, пикриты) до 50-80% (основные породы)	
								I. Полевых шпатов	I. Плагиклазов	Содержание анортитовой составляющей > 52% (звкриты > 90; анортитовые базальты 90-100; некоторые анортозиты до 98%)
								I. Амфиболов	I. Роговой обманки	Повышенное содержание $Al_2O_3$ (перидотиты 10,2-15,06%; звкриты - 12,71%; габбро - 7,27-9,48%)
2. Минеральных месторождений							I. Шпинелли	I. Магнезиохромит	Нодулярное строение	
								2. Магнетит	Повышенное содержание $TiO_2$ (до 27,77%) с образованием разности титаномагнетит	
							2. Ильменита-рутила	I. Ильменит 2. Рутил	Расположение в нельсонитах в ассоциации с апатитом и гиперстеном	
			3. Сульфидных медно-никелевых руд					I. Пирротин 2. Пентландит 3. Халькопирит	Приуроченность к первично-расчлененным интрузивным породам ультраосновного и основного состава	
			4. Борнит-халькопиритовых руд					I. Борнит 2. Халькопирит	Ассоциация с ванадий-содержащим титаномагнетитом	
			5. Платиноидов					I. Платины 2. Платина иридиястая 2. Осмистого иридия 1. Невьянскит 2. Снертскит	Ассоциация с хром-шпинелями	
			6. Алмазные месторождения					I. Алмаз	Нахождение в кимберлитах в ассоциации с пиропом	
3. Продуктов изменения								I. Хризотил 2. Антофиллит	Развитие асбестовидных разностей	
								2. Талька и магнезита	I. Тальк 2. Магнезит	Расположение в зонах серпентинизации
								3. Монтмориллонита	I. Нонтронит	Ассоциация с опалом и вторичными минералами никеля с образованием натечных агрегатов

Тип	Подтип	Класс	Подкласс	Отдел	Семейство	Ряд	Группа	В и д	
								Название	Типоморфные особенности
		2.Щелочных пород	1.Породообразующих минералов	1.Полевых шпатов	1.Щелочных полевых шпатов		1.Микроклин 2.Альбит	Образование микроклин-пертита с расположением альбитовых полосок по мурчинсонитовой отдельности; наличие <i>va</i> и <i>5r</i> (нефелиновые сиениты)	
				2.Фельдшпатов			1.Нефелин 2.Содалит 3.Канкринит	Шпреуштейнизация и альбитизация Интенсивное замещение нефелина	
				3.Пироксенов			1.Эгирин	Пойкилитовые включения нефелина; образование солнц	
				4.Амфиболов	1.Щелочных амфиболов		1.Арфведсонит 2.Гастингсит	Ассоциация с эгирином в виде параллельных сростков и общей осью Z Ассоциация с эгирином и нефелином	
				5.Слюд			1.Биотит	Тесные сростания с эгирином и щелочными амфиболами	
		2.Минеральных месторождений		1.Пироксена			1.Пироксон	Светло-серый и светло-коричневый цвет, бипирамидальный габитус, связь с альбитизацией	
				2.Апатита			1.Апатита 1.Фтор-apatит 2.Нефелин	Содержание <i>5r</i> , щелочей и <i>7R</i> Ассоциация с апатитом, альбитом и микроклином	
				3.Магнетита			1.Магнетит	Тесные прорастания с апатитом	
				4.Лопарита			1.Лопарит	Двойники прорастания в нефелине и эгирине	
				5.Графита			1.Графит	Ассоциация с микроклином, эгирин-авгитом, альбитом, кальцитом и титанитом	
		3.Кислых пород	1.Породообразующих минералов				1.Кварца 1.Кварц	Кристаллизация в высокой (гексагональной) модификации	
				1.Полевых шпатов	1.Щелочных полевых шпатов		1.Ортоклаз 2.Сангидин 3.Микроклин 4.Анортоклаз	Различная степень упорядоченности	
					2.Плагиоклазов			Состав от альбита до олигоклаза	
				3.Слюд			1.Биотит	Колебание состава главных окислов (%): $FeO - 12-25;$ $Fe_2O_3 + TiO_2 \leq 10;$ $MgO$ до 12; сильный плеохроизм	

Тип	Подтип	Класс	Подкласс	Отдел	Семейство	Ряд	Группа	В и д	
								Название	Типоморфные особенности
		4. Карбонатитов		1. Пороодообразующих минералов			1. Кальцита	1. Кальцит	1. Примесь Sr, Ba и Th. 2. Интенсивная термоллюминесценция
								2. Сидерит	Ассоциация с фторкарбонатами Th
							2. Доломита	1. Доломит 2. Анкерит	Ассоциация с риктеритом, тетраферрифлогопитом и редкоземельными минералами
							3. Оливина	1. Форстерит	Ассоциация с магнетитом и редкометалльными минералами
					1. Слюд			1. Биотит	Ассоциация с тетраферрифлогопитом
								2. Флогопит	
				2. Акцессорных минералов			1. Уранинита	1. Баццеллит	Ассоциация с апатитом и гатчеттолитом
								1. Пирохлор	Содержание U, Th и Th (разновидность гатчеттолит)
								1. Перовскит	Содержание Nb (диэналит) и Ce (кноцит)
								1. Бастнезит	
							2. Паризита	1. Паризит 2. Синксит	Ассоциация с доломитом и анкеритом
							3. Апатита	1. Карбонат-апатит	Ассоциация с магнетитом, форстеритом и редкометалльными минералами

В развернутом виде для минералов собственно-магматогенного класса классификация приведена в табл.2.

Из приведенной в этой таблице схемы видно, что не все минеральные виды занимают определенное место в классификации. Многие из них являются минералами "сквозными" и характерны для нескольких генетических подразделений, но каждый из них, характеризуясь определенными типоморфными особенностями, приобретает более или менее четкое генетическое выражение.

Данная схема - первая попытка такого рода и далека от совершенства. Ее следует рассматривать как первый опыт на пути создания генетической классификации.

Н.В.Петровская

### ЗАКОНОМЕРНЫЕ СООБЩЕСТВА МИНЕРАЛОВ, В ЧАСТНОСТИ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ (понятия, термины)

Общие положения. Продолжающиеся дискуссии о сущности понятий "минеральный парагенезис" и "минеральная ассоциация" свидетельствуют о сложности вопроса о причинах, определивших постоянство сонахождений минералов в рудах и породах и неодинаковой трактовке значимости таких причин. Однако потребность в унификации представлений в этой области знаний становится все более настоятельной, поскольку их разноречивость затрудняет сопоставление материалов разных исследователей, и тормозит общее развитие учения о минеральных ассоциациях.

Не останавливаясь на истории вопроса, неоднократно освещавшейся в литературе [1, 3, 17, 24], отметим, что для современного ее этапа характерно усиление внимания к экспериментальным исследованиям минеральных систем и термодинамическому анализу условий их стабильности [1, 15, и др.], определение места минеральных ассоциаций в общей иерархии природных образований [3, 17], стремление к формализации понятий, необходимой для упорядочения большого потока информации о минеральных сообществах. Наряду с этим продолжают развиваться исследования возрастных соотношений минералов, стимулом для которых послужили известные положения А.Г.Бетехтина [1, 2] о минеральных ассоциациях как о вещественном отображении стадий минералообразования.

Оформившиеся направления исследований оказались в известной мере обособленными, что привело к формированию неодинаковых понятий, относимых к минеральным сообществам, которые стали выделяться по разным критериям. К их рассмотрению мы вернемся ниже, ограничившись здесь некоторыми общими суждениями.

Многие противоречия во взглядах исследователей являются следствием стремлений свести определения к единому общему понятию "ассоциация минералов" или их "парагенезис", как целостной категории. В большинстве публикуемых работ рассматривается лишь понятие "парагенезис минералов"



и нередко как синоним "минеральной ассоциации" вообще. Однако весь имеющийся материал, включая данные наших личных наблюдений, приводит к выводу о существовании не одной, а целого ряда категорий закономерных минеральных сообществ, различных по масштабу и природе связей между минералами. Это легло в основу идеи типизации и систематики минеральных ассоциаций [17]. О существовании "самостоятельных, хотя и перекрещивающихся понятий, каждое из которых имеет свое содержание" упоминает О.П.Иванов [10], сравнивая определения термина "парагенезис", даваемые разными авторами. Очевидно нужно не одно, а серия понятий, их система, отвечающая современному уровню знаний о причинно-следственных связях минералов и условий их образования, определивших существование постоянных их сочетаний, в породах и рудах.

К общим вопросам учения о минеральных сообществах относится вопрос об объективности существования таких сообществ: она признается одними исследователями, подчеркивающими естественный характер минеральных ассоциаций [2, 13, 23 и др.], и противоречиво трактуется другими. Так, Ю.А.Воронин и Э.А.Еганов [6], критически оценивая положение, согласно которому парагенетические ассоциации "существуют в природе вне нашего сознания", полагая, что оно ведет к необходимости "опираться только на свои субъективные представления", поскольку связи между минералами и управляющие ими закономерности "не заданы" [6, стр.66]. Выделение парагенезисов, по мнению этих исследователей, определяется целями и способами группирования природных объектов, т.е., по-существу, является условным. Оно сводится "к способу разбиения множества объектов на таксоны в заданном пространстве признаков", выбираемых по желанию исследователя. Отсутствие фиксации целевого назначения понятия считается "методологической ошибкой". Исходя из заданной цели, исследователь может, например, относить все минералы оруденелого гранита к одной парагенетической ассоциации или выделять среди них несколько ассоциаций - породообразующую, рудную и т.д. [6, стр.100].

Неприемлемость рассмотренного подхода к анализу минералогических материалов представляется очевидной. Выбор критериев выделения сообществ минералов должен базироваться на знании объективных закономерностей, определяющих естественные группировки минералов в рудах и породах. Цели исследований позволяют лишь акцентировать внимание на определенных особенностях таких группировок.

Несколько слов о конкретном и абстрактном содержании рассматриваемых понятий. Несомненно, что "минеральная ассоциация" и "минеральный парагенезис" должны рассматриваться как обобщающие понятия с той же степенью абстрагирования, как и общее понятие "минерал", однако, как и последнее, они имеют двойственное и даже тройственное значение. Под названием "минеральная ассоциация", включая парагенезисы минералов, в одних случаях подразумеваются связи между минералами, в других - тип сочетаний минералов, в третьих - материальные конкретные тела. В описаниях

нередки такие выражения: "минеральные ассоциации слагают жилы или их участки". В крайней форме подобный подход сказался в следующем определении: "парагенезис минералов – природное тело, состоящее из элементов мономинеральных тел", т.е. зерен, кристаллов минералов и т.д. [3, стр. 284]. Этим стираются различия между понятиями "минеральная ассоциация" и "минеральный агрегат", что вряд ли правильно; количества минеральных тел и минеральных агрегатов несопоставимо больше, чем количества любых ассоциаций минералов.

Практика использования (в описаниях) понятий генетической минералогии, имеющих двойственную сущность, открыла способ их отдельных обозначений условным расположением слов. Так, выражение "образование минералов" уверенно относится к процессу их рождения, тогда как "минеральное образование" всеми понимается как материальное тело. Соответственно можно принять, что "парагенезисом минералов", или их ассоциацией, должны обозначаться общие категории сообществ минералов, объединяемых теми или иными связями, а "минеральные парагенезисы" (ассоциации) в этом случае могут иметь значение и конкретных представителей таких общих категорий в породах и рудах.

Вопросы терминологии в учении о минеральных сообществах ждут своего решения. Формирующиеся понятия уже не могут вмещаться в прокрустово ложе одного – двух наименований "парагенезис" и "ассоциация". Однако на данном этапе, вероятно, уместна осторожность при введении новых терминов, и без того нередко засоряющих минералогическую литературу (например, обильные терминологические нововведения в статье А.П.Кюшкина, опубликованной в 1976 г. в журнале "ЗМО", вып.6). Более правильным представляется ограничение синонимизации, являющейся своего рода излишеством при дефиците терминов, и привязка каждого из них к одному из понятий, а также обозначения разных понятий теми или иными прилагательными, сопровождающими основной термин. Конкретные предложения приводятся в следующих разделах статьи.

О широких минеральных ассоциациях и принципах их выделения. Различия широких и узких ассоциаций минералов, упоминаемые в работах А.Г.Бетехтина и других ученых, определяются неодинаковым количеством ограничивающих эти понятия признаков: чем меньше признаков, тем шире объем понятий [21]; увеличение числа признаков должно вести к выделению новых узких групп минералов, являющихся частями более широких минеральных сообществ.

Перечень признаков может быть большим, однако главные из них три: пространственная близость выделений минералов, их возрастные соотношения и физико-химические факторы, действие которых предопределило сонахождение минералов.

Наиболее широкое общее понятие ограничивается первым главным признаком – сонахождением минералов. Ему соподчинены второй и третий признаки, позволяющие выделять в пределах общего понятия два частных. Все три

признака совместно и во взаимной связи друг с другом ограничивают понятия узких минеральных ассоциаций (парагенетическую и др.). Этим определяется принцип соподчиненности в системе понятий.

Для широких групп минералов целесообразно сохранить общее название "минеральные сообщества", как своего рода термин "свободного пользования". Синонимом его служит термин "минеральная ассоциация" (в широком смысле слова), однако следует учитывать, что так нередко именуют более узкие группы минералов. Определение понятия представляется следующим: минеральные сообщества (ассоциации) — это любые постоянные сочетания минералов, вне зависимости от их возраста и генезиса, объединяемые признаком закономерного сонахождения.

Критерий общности времени образования должен служить основой понятия о хронологических комплексах минералов. Используя упоминавшееся выше выражение А.Г.Бетехтина, можно сказать, что они служат вещественным отображением определенных периодов формирования руд и пород. В соответствии с этим могут иметь место понятия о комплексах разных масштабов — одноциклических, одноэтапных, одностадийных и т.д. [17]. Такие понятия важны при изучении истории формирования рудных полей, в металлогенетических построениях, в сравнительном анализе петрологических данных и т.д.

Зависимости минеральных ассоциаций от физико-химических условий их образования многообразны, сказываясь на сущности как широких, так и узких понятий о сообществах минералов. К широким относятся понятия о магматогенных, метаморфогенных, рудогенных (постмагматических) минеральных ассоциациях и их рядах. Влияние отдельных термодинамических факторов (температур, условий равновесия и их нарушения) определяют возникновение более узких минеральных сообществ.

Категории широких ассоциаций минералов не исчерпываются отмеченными. Одним из критериев их выделения может быть, в частности, масштаб проявления ассоциаций с построением следующего их ряда: 1) мега-ассоциации (совокупности всех минералов, характерных для определенных формаций и типов руд и пород, т.е. "минеральные формации"); 2) макро- и микроассоциации (сочетания минералов, выявляемые в отдельных участках рудных тел и массивов пород при макро- и микроскопических наблюдениях и минералогическом картировании); 3) криптоассоциации (закономерные сообщества минералов, представленных ультрамелкими включениями в других минералах и обнаруживаемые на уровне высокоразрешающей оптической и электронной микроскопии и электронного зонда). В важности выявления таких ассоциаций мы убедились, изучая совокупности тончайших включений в рудных минералах, в частности в самородном золоте [14, 19].

Парагенезис, как узкая гомогенетическая ассоциация минералов. Среди признаков узких минеральных сообществ, генетические соотношения минералов, по мнению большинства исследователей, имеют особо важное значение. Главное внимание обычно уделяется общности условий, в которых

возникали члены сообществ, и единству процесса их формирования [2, 12, 13, 29 и др.]. Вместе с тем встречаются высказывания, согласно которым тесные генетические ассоциации минералов могут возникать как при одном, так и при разных процессах, при одновременном или последовательном возникновении минералов, в том числе при участии явлений замещения [8]. Во всех случаях рассматриваемые ассоциации называются парагенетическими, однако очевидно, что их природа различна.

По признаку близости и различий времени и условий образования компонентов ассоциаций, необходимо разграничивать два их типа: ассоциации гомогенетические и гетерогенетические. Понятие "минеральный парагенезис" может быть отнесено только к первому типу. Его определение предложено нами [18] в следующем виде: парагенетическая минеральная ассоциация (синоним – минеральный парагенезис) – это закономерное сообщество минералов, образованных совместно, одновременно или частично последовательно как равновесная минеральная система, в пределах термодинамических условий, допускающих возникновение такой системы и в ограниченный отрезок времени, соответствующий одной ступени минерального равновесия.

Приведенное определение, развивающее идеи А.Брейтгаупта, В.М.Гольдшмидта, А.Г.Бетехтина, Д.С.Коржинского о генетической сущности понятия "парагенезис", не потеряло, как мы полагаем, значения и в настоящее время. Возвращаться к вопросу заставляет активная критика генетической концепции, которой противопоставляется концепция "вещественно-структурная" или "формализационная". Генетический подход к понятию объявляется "заведомо неподходящим", поскольку он не способен "объективно определять границы генетических систем" [6, стр.64, 67] и "ведет к возникновению логически-порочного круга", так как выяснение парагенезисов минеральных образований "уже предопределено самим их выделением" [3, стр.282].

В упомянутых высказываниях есть элемент недоразумения. Выделение парагенезисов служит итогом изучения взаимоотношений минералов, а не предваряет (предопределяет) выводы об их происхождении.

Считая, что из трех показателей парагенезисов, реальным является только один – пространственный [3, 4], а остальные не имеют четко определенного содержания, сторонники вещественно-структурной концепции пытаются подкрепить это мнение ссылками на историю вопроса. Так, В.И.Васильев и его соавторы [3] утверждают, что под названием "парагенезис" первоначально подразумевалось только сонахождение минералов и лишь впоследствии это "традиционное" содержание понятия стало заменяться представлением о сопроисхождении минеральных компонентов парагенезисов. С такой оценкой истории развития понятия нельзя согласиться. А.Брейтгаупт [21], опирающийся на труды своих предшественников Ромэ Делилл, А.Вернера и других, предложил термин "парагенезис", несомненно учитывая семантику слова, а оно не могло обозначать ничего другого, как сопроисхождение. Не случайно, что использование данного понятия А.Брейтгауптом и

его последователями никогда не приводило к объединению в один парагенезис эндогенных минералов и продуктов их окисления, как бы постоянны не были их сонахождения. Ссылаясь на общее неполное определение понятия, данное В.И.Вернадским (Избр. соч., т.1, 1954), подчеркивающим признак сонахождения минералов, авторы упомянутой статьи не учитывают естественно-исторического подхода к минералогическим материалам, свойственного всем трудам ученого. По его утверждению, "успехи минералогии заключаются в нахождении законностей парагенезиса, причин, вызывающих нахождение... минеральных ассоциаций". Рассматривая историю минералов в земной коре В.И.Вернадский писал, что "она выражается в их парагенезисе" (Избр.соч., т.IV, 1959, стр.427, 429). Элементы генетической трактовки понятия "парагенезис" можно найти в трудах А.Вернера, В.М.Севергина и других основоположников учения о парагенезисах минералов.

Сказанное позволяет утверждать, что генетическая сущность понятия "парагенезис" имела ввиду с начала его возникновения. Значительно позднее возникла тенденция формализационного подхода к его определению. Попытки решения задачи с помощью "меры и числа" предпринимались неоднократно (Вистелиус, 1948; Amstutz, 1965 и др.), однако при этом значение признаков генетической общности минеральных компонентов парагенезисов не отрицалось. Отрицание их пришло в начале 70-х годов, когда генетические критерии, определяющие понятие "парагенезис" было предложено заменить "структурно-вещественными" показателями [3]. При этом под структурой парагенезисов понималось расположение зерен минералов, их относительная размерность, идиоморфизм или ксеноморфизм.

Создается впечатление, что авторы приводимых высказываний отождествляют критерии выделения минеральных парагенезисов и признаки их распознавания. Однако различия их существенны: первые - единичны и относятся к главной сущности понятия, т.е. к природе связей между минералами, вторые - обычно множественны и находятся в функциональной зависимости от первых; такие зависимости должны быть установлены хотя бы эмпирически прежде, чем признаки распознавания могут выполнять свою роль.

Основой распознавания и тем более выделения минеральных парагенезисов, как показывает опыт исследований, не может служить комплекс признаков, названных выше. Разновременные и разнотипные по генезису минеральные образования нередко имеют сходные черты строения, а минеральные агрегаты одного типа проявляют изменчивость структуры, обусловленную локальными влияниями среды, степенью приоткрывания минерализуемых полостей и т.д. Не всегда имеют существенное значение и признаки идиоморфизма минералов, по-разному проявляющиеся в зависимости от наличия свободных пространств, легко замещаемого вещества среды или условий стесненного роста.

Предложение ограничиться при выделении парагенезисов критериями состава и структуры минеральных агрегатов наряду с утверждением о непригодности генетических критериев как "проблематичных и дискуссион-

ных" свидетельствует о недооценке сторонниками "вещественно-структурной" концепции имеющихся материалов, накопленных при парагенетическом анализе руд и пород. Возможность достаточно уверенного определения трех основных черт общности минеральных компонентов парагенетических ассоциаций доказана на многих конкретных примерах [2, 22, 25 и др.]. Приведем главные положения.

1. Признаком равновесных соотношений минералов по общему признанию может служить отсутствие следов активной коррозии и замещений одних минералов другими, выщелачивания и перекристаллизации вещества. Поскольку равновесие может быть динамическим, частичные его нарушения не исключаются и при формировании одного минерального парагенезиса, но они неизбежно будут локальными и незначительными по масштабам. Существенное их проявление - свидетельство смены одного парагенезиса другим, стабильным в иных условиях.

2. В качестве показателя возрастной близости минералов в их парагенезисах уже давно с уверенностью используется признак однотипности их позиций в участках развития текстур пересечений и брекчирования, в зонах одновременной тектонической активности; следует лишь учесть, что единичные пересечения, особенно наблюдаемые на микроскопическом уровне, могут быть следствиями синминерализационной деструкции вещества.

3. Пространственная обособленность минеральных образований, особенно при их приуроченности к одним и тем же элементам тектонических структур, может рассматриваться не только как проявление пространственных связей минералов, но и как показатель их возрастной общности. Основой для его установления обычно служат материалы минералогического картирования рудных полей и массивов пород.

Операции распознавания минеральных парагенезисов по указанным критериям в ряде случаев дают приближенные решения, однако более определенные, чем анализ фактов с позиции "структуры парагенезисов".

Узкие гетерогенетические ассоциации минералов. Существование узких минеральных ассоциаций, не менее постоянных, чем парагенетические, но имеющих принципиально иную природу, установлено результатами многих исследований; они фиксировались на уровне описаний, но обобщения о таких ассоциациях не возникало. В отдельных работах встречаются упоминания о различиях "равновесных и неравновесных парагенезисов" [7], однако такие названия недостаточно определены.

Признаки неравновесных соотношений, коррозии и замещений не исчерпывают характерных черт рассматриваемых сообществ минералов и не служат определяющими их критериями. Так, опережающее выщелачивание вещества одних минералов и осаждение на их месте других, неравновесных с первыми, хотя и создает своеобразные гетерогенные комбинации минералов, но лишь непостоянные, так как отдельные минералы могут возникать независимо друг от друга как в одних и тех же, так и в разных частях минерализуемых объемов.

Тесные связи между компонентами неравновесных ассоциаций возникают при образовании одних минералов из вещества других, ранее сформированных. Ассоциации этого типа нами предложено именовать ортогенетическими [9, 18, 19]. Попытаемся дать определение понятия: ортогенетическая ассоциация — это разновидность узких минеральных сообществ, компоненты которых образованы в разное время, в неодинаковых физико-химических условиях, а тесные связи между ними имеют донорно-акцепторный характер. К ним могут относиться сочетания метасоматических новообразований и остатков замещаемого минерала, продуктов распада протоминерала и реликтов последнего и т.д.

Можно различать ортогенетические ассоциации, образованные в узком диапазоне условий, когда замещающие и замещаемые минералы образуются в ходе одного процесса, в периоды нарушений минеральных равновесий, и резко гетерогенные при существенной разновременности и генетической разнотипности членов сообщества. К числу последних могут относиться сочетания эндогенных минералов и продуктов их экзогенных преобразований.

Ортогенетические ассоциации играют существенную роль среди метаморфогенных комплексов минералов (например, сочетания слюд и кварца с замещаемыми полевыми шпатами, хлоритов — с темно-цветными минералами пород и т.д.); они распространены в рудных месторождениях, появляясь в ходе сложных многостадийных процессов, при многократных нарушениях равновесий в системах минералы — растворы. Примерами их служат ассоциации пирита с замещающим его халькопиритом в колчеданных рудах, сульфосолей свинца — с галенитом в свинцово-цинковых месторождениях, теллуридов висмута с висмутином в рудных месторождениях висмута, золота и др.

Данные наших наблюдений на многих рудных полях разного типа позволяют утверждать, что ортогенетические ассоциации минералов особенно характерны для зон активной минерализации, для участков рудных столбов, что придает им значение одного из оценочных признаков относительно богатых руд.

О некоторых задачах исследований минеральных ассоциаций. Положительное значение дискуссии последних лет о сущности рассматриваемых понятий состоит в том, что она заострила вопрос о необходимости поисков новых путей исследований, в том числе связанных с формализацией понятий и подчеркнула неудовлетворенность упрощенным подходом к использованию генетических критериев выделения минеральных ассоциаций и расплывчатостью ряда определений понятий. Однако она не поколебала принципиальных основ представлений о генетической сущности таких понятий, как минеральный парагенезис.

Наряду с уточнением и дополнением системы понятий о разнородных и разномасштабных минеральных сообществах одной из основных задач дальнейших исследований должно служить расширение комплексов признаков, позволяющих распознавать черты общности минеральных компонентов ассоциаций и судить об их природе. Решение этой задачи тесно связано с разработкой

проблемы типоморфизма минералов, их состава, включая изотопный состав элементов, свойств, морфологии выделений, пространственно-временных соотношений. Поскольку особенности минералов и их сообществ, как правило, изменчивы, объектами изучения должны служить пределы их вариаций. Результаты таких исследований важны также для разработки вопроса о фациальной изменчивости минеральных ассоциаций, составляющего еще мало освещенный раздел учения о сообществах минералов.

Использование современных методов электронной микроскопии в сочетании с микродифракцией и электронным зондом открывает новые возможности обнаружения и изучения "криптоассоциаций" минералов как пара-, так и ортогенетических. Этим значительно расширятся перспективы развития учения о минеральных сообществах. Необходимо учитывать, что ортогенетические микро- и криптоассоциации - часто единственные свидетели метасоматической природы минеральных образований, особенно рудных, или превращений, которые они испытали в разные периоды геологической истории. Нет необходимости пояснять теоретическое и практическое значение таких показателей генезиса месторождений.

Важнейшей задачей остается накопление материалов наблюдений и сравнительный анализ изоминеральных и изогенетических ассоциаций минералов в рудах и породах одних и тех же формаций, развитых в разных районах. Конечная цель работ этого плана - построение системы моделей минеральных ассоциаций, типоморфных для определенных рудных и петрологических формаций. Попытка такого построения была предпринята нами и Т.Н.Шадлун (1972) при сопоставлении наборов ассоциаций, характерных для месторождений золота, меди, свинца и цинка.

Четкое разграничение понятий о минеральных сообществах и разработка их системы должны содействовать более полному использованию признаков минеральных ассоциаций в практике поисков и оценки минеральных месторождений. Одним из конкретных шагов на этом пути явилось предложение выделять особую категорию продуктивных ассоциаций, с которыми тесно связаны ценные компоненты руд [16]. Это предложение, широко используемое исследователями и разведчиками рудных месторождений [26 и др.], может быть дополнено указанием на существование как пара-, так и ортогенетических ассоциаций продуктивного типа. Картирование участков и зон их развития будет оказывать существенную помощь при выявлении перспектив различных частей рудных полей и районов.

#### Выводы:

1. Развитие учения о закономерных сообществах минералов приводит к необходимости создания системы понятий, отражающих различия масштабов сообществ (мега-, макро-, микро- и криптоассоциации) и многообразия их природы. Широкие понятия ограничиваются одним из главных определяющих критериев, узкие - несколькими критериями.

2. Наиболее широким является понятие о минеральных сообществах, объединяемых критерием сонахождения выделений минералов, безотноситель-



но ко времени и условиям их образования; другие понятия являются его частями.

3. Среди узких минеральных ассоциаций целесообразно выделять гомо- и гетерогенетические; первые представлены парагенезисами минералов, общность которых определяется в общем синхронным образованием в однотипных равновесных или близких к ним условиях; среди вторых выделены ортогенетические ассоциации, объединяющие разновременные минеральные образования с донорно-акцепторными связями между ними. Естественно-историческая основа понятий предопределяет важное значение критерия времени образования минералов.

4. Признавая своевременной задачу формализации рассматриваемых понятий, следует подчеркнуть недопустимость отказа от их генетического смысла; такой отказ мог бы привести к резкому обеднению понятий и сведению их до уровня описательных категорий.

5. Практическое значение системы понятий о минеральных сообществах заключается не только в возможности более полного познания истории и условий формирования руд и пород, но и в уточнении путей использования минеральных ассоциаций в качестве поисковых и оценочных признаков минеральных месторождений.

#### Литература

1. Бетехтин А.Г. Понятие о парагенезисе минералов. - Изв. АН СССР. Сер. геол., 1949, № 2, с.7-18.
2. Бетехтин А.Г. Парагенетические соотношения и последовательность образования минералов. - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1951, ч.80, № 2, с.94-107.
3. Васильев В.И., Драгунов В.И., Рундквист Д.В. "Парагенезис минералов" и "формация" в ряду образований различных уровней организации. - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1972, ч.101, вып.3, с.87-94.
4. Васильев В.И., Драгунов В.И., Рундквист Д.В. Понятие "парагенезис" в концепции об уровнях организации вещества. - Тезисы докл. на IV симпозиуме Международ. Минерал. ассоциации. София, 1974, с.55-58.
5. Вистелкус А.Б. Мера связи между членами парагенезиса и методы ее изучения. - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1948, ч.77, № 2, с.147-158.
6. Воронин Ю.А., Еганов Э.А. Фации и формации. Парагенезис (уточнение и развитие основных понятий геологии). Новосибирск, "Наука", 1972, 96 с.
7. Годлевский М.Н. Анализ парагенезисов, наблюдаемых в Индерских месторождениях. - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1938, ч.67, вып.1, с.18-30.
8. Годовиков А.А. Введение в минералогия. Новосибирск, "наука", 1973, 232 с.
9. Жариков В.А. Парагенезис минералов, фации и формации. - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. Вторая серия, 1968, ч.97, вып.4, с.510-514.
10. Иванов О.П. Некоторые замечания к определению понятий "парагенезис", "генерация минерала" и "стадия минерализации". - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. Вторая серия, 1972, ч.101, вып.5, с.329-335.
11. Коржинский Д.С. Физико-химические основы анализа парагенезисов минералов. М., Изд-во АН СССР, 1957. 212 с.
12. Костов И. Минералогия. М., "Мир", 1971. 584 с.
13. Лазаренко Е.К. Основы генетической минералогии. Львов, Изд-во Львов. ун-та, 1963. 410 с.
14. Новгородова М.И., Петровская Н.В., Фролова К.Е. О тонкодисперсном золоте в эндогенных рудах. - В кн.: Неоднородность минералов и тонкие минеральные смеси. М., 1977, с.44-61.

15. Перцев Н.Н. Парагенезисы при последовательном минералообразовании. - В кн.: Очерки физ.хим. петрологии. Т.2. М., 1970, с.55-71.
16. Петровская Н.В. О продуктивных минеральных ассоциациях в золоторудных месторождениях. - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1955, ч.84, № 3, с.290-307.
17. Петровская Н.В. О систематике минеральных ассоциаций, возникающих при гидротермальном рудообразовании. - Геология руд.месторождений, 1965, № 1, с.15-21.
18. Петровская Н.В. О понятии "парагенетическая минеральная ассоциация". - Геология руд.месторождений, 1967, № 2, с.27-38.
19. Петровская Н.В. Самородное золото. М., "Наука", 1973. 218 с.
20. Петровская Н.В., Шадлун Т.Н. Типоморфизм парагенетических минеральных ассоциаций некоторых рудных формаций. - В кн.: Типоморфизм минералов и его практическое значение. М., 1972, с.227-233.
21. Родионов Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. М., "Недра", 1968. 92 с.
22. Тимофеевский Д.А. О формационной классификации, минеральных типах и золотоносных минеральных ассоциациях золоторудных месторождений СССР. - Тр. ЦНИГРИ, 1971, ч.1, вып.96, с.20-32.
23. Ферман А.Е. Геохимия. Т.3. М., Изд-во АН СССР, 1937. 670 с.
24. Шадлун Т.Н. О международном коллоквиуме по проблеме минеральных парагенезисов. - Геология руд.месторождений, 1967, № 1, с.70-74.
25. Шадлун Т.Н., Добровольская М.Г. Критерии выделения минеральных парагенезисов и использование их при изучении последовательности рудоотложения в свинцово-цинковых и колчеданных месторождениях. - В кн.: Проблемы эндогенного рудообразования. М., 1974, с.101-116.
26. Яновский В.М., Михайлова Л.В. О продуктивных минеральных ассоциациях Кочкарского золото-мышьякового месторождения (Д.Урал). - В кн.: Вопросы геологии месторождений золота. Томск, 1970, с.160-172.
27. Breithaupt A. Die Paragenese der Minerallien. Freib., 1849, 420 S.
28. Василев Л. Върху понятието "парагенезис" и критерияте за парагенезис. - Списание Българ. геол. дружество, 1969, 30, № 1, с.30-38.
29. Pröbster H.J., Wolf M. Der Paragenesebegriff - Diskussion um seine Definition in der Gegenwart. Freib., Forsch.-H., 1969, S. 32-38.
30. Petrovskaja N.N. Typen der Mineralassoziation in Goldlagerstätten. Problem der Paragenese. Breithaupt-Kolloquium, 1966; Leipzig, 1968, S. 55-61.

Б.В.Защиха, А.В.Любинецкая

К ВОПРОСУ ВЫДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ЕДИНИЦ  
ОРГАНИЧЕСКИХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ  
ПО КОМПЛЕКСУ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
(на примере ртутных парагенезисов Украины)

В последнее время широко обсуждается термин "органический углеродсодержащий минерал" или так называемый "битум", ставший полноправным объектом минералогии (Лазаренко, 1961-1970; Мелков, Сергеева, 1976; Флоровская, Мелков, 1976; Флоровская, 1975; Защиха, Куровец, 1977).

Рассмотрены вопросы систематики и генезиса углеродсодержащих минералов, форм их нахождения в различных парагенетических ассоциациях месторождений ртути, золота, полиметаллов, урана, барита, флюорита и др., но, как справедливо отмечают В.Г.Мелков и А.М.Сергеева (1976), "ограниченность и фрагментарность точных сведений о конституции твердых углеродистых минералов не позволяет научно обоснованно и достоверно с указа-

нием величин и форм конституционных параметров и отвечающего им комплекса диагностических свойств выделить среди рассматриваемых минералов конкретные минеральные виды и разновидности".

Наиболее полно такой комплекс предложен В.Г.Мелковым (1975) для выделения классификационных единиц твердых аморфных углеродистых минералов. Расширяя предложенную схему, предлагается утвердить такой комплекс (табл.1) диагностических свойств для всех органических углеродсодержащих минералов, включающий как традиционные методы определения углеродсодержащих веществ, так и современные методы анализа минералов (ИКС, ЭПР, ЯМР и др.):

1. Морфология индивидов и агрегатов, электронная микроскопия субмикроскопических образований, гониометрия кристаллов.
2. Агрегатное состояние, консистенция, плотность.
3. Оптические свойства (показатели преломления и кристаллооптические свойства, цвет, цвета люминесценции). Твердость.
4. Рентгенометрические исследования (рентгеноаморфность): полная дебааграмма или дифрактограмма, определение пространственной группы симметрии кристаллической структуры, параметры пространственной решетки.
5. Химический элементный и компонентный состав (содержание (вес.%) углерода, водорода, кислорода, серы, азота; атомарное отношение С/Н; расчет кристаллохимической формулы, выделение битуменов и карбондов и их составляющих, данные газожидкостной хроматографии.
6. Квазилинейчатые спектры люминесценции и диаграммы инфракрасной спектроскопии с расшифровкой функциональных групп.
7. Растворимость в хлороформе, спиртобензоле, кислотах, щелочах и др.
8. Термический дифференциальный анализ и его разновидности, с объяснением природы эндо- и экзоэффектов.
9. Изотопный состав углерода OUM.
10. Место OUM в изучаемой парагенетической ассоциации, ее термобарогеохимические параметры (Т, Р, X, pH, солевой и газовый состав и др.).

Такой комплекс по диагностике OUM не всегда и не во всех лабораториях возможно провести в одинаковой мере и здесь нельзя не согласиться с высказыванием В.Г.Мелкова (1975), что "вследствие совершенно объективных причин познание природы твердых углеродистых минералов, изучение конституции каждого из них как индивидуализованных природных физических тел и химических соединений и отображение ее химической формулой, изучение свойств каждого природного углеродистого минерала в связи с его конституцией, установление его диагностических свойств, а также диагностических свойств разных групп родственных углеродистых минералов находятся в начальной стадии".

Отмеченные проблемы изучения и диагностики органических углеродсодержащих минералов (OUM) существуют при изучении ртутных парагенезисов Донбасса и Закарпатья, где OUM, встречаясь в небольших количествах,

являются типоморфными и отнесение их к определенному виду или разновидности по комплексу диагностических критериев, а также выявление изменения их признаков по морфологии, химическому составу, физическим свойствам и конституции будет служить более целенаправленным поисково-разведочным работам.

Изучению ОУМ ртутных парагенезисов Закарпатья уделялось большое внимание (Архипова, 1951; Франк-Каменецкий, Малеева, 1953; Гринберг, Шиманский, 1954; Малеева, 1954; Гиллер, 1955; Мерлич, Спитковская, 1955; Пшотровский, 1955; Лазаренко и др., 1963; Гринберг и др., 1964; Зацха, 1975; Братусь, Мамчур, Ковалишин, Шабо, 1975; Коржинский, Калиш, 1976; и др.). Но в этих работах отсутствуют многие звенья по диагностике ОУМ, не позволившие исследователям отнести их к конкретной классификационной единице. Поэтому, применяя отмеченный ранее комплекс диагностических свойств и опираясь на общепринятые классификации ОУМ (Муратов, 1970; Мелков, 1975; Зацха, Куровец, 1977, и др.), мы дополнили опубликованные исследования по Закарпатья и, по возможности, отнесли к конкретным минеральным видам и разновидностям.

Ниже приведены сокращенные описания ОУМ ртутных парагенезисов Закарпатья, относящихся к классу твердых углеродистых минералов - "нафтидоподобных органитов".

Подкласс аморфных "битумов" - нафтидов представлен группой асфальта, включающей минеральные виды - мальту и асфальт.

Мальта Закарпатья имеет несколько синонимов: жидкое органическое соединение типа "капельных нефтей" (Мерлич, 1955); жидкий битум (Коржинский, Калиш, 1976) и собственно мальта (Флоровская и др., 1968). Встречается в виде примазок в полостях кварц-кальцитовых и карбонатных жил на месторождениях Боркут, Моронтош, Оленево. Состояние вязкое до полувязкого. Цвет медово-желтый до бурого. Рентгеноаморфна.  $n = 1,690 \div 1,700$ . Люминесцирует в желтых цветах, что отвечает смолисто-асфальтеновому типу битумоида (асфальтенов более 20%). Химический состав мальт приведен в табл. I.

Растворимость в хлороформе полная.

Т а б л и ц а I  
Элементный и компонентный состав мальт Закарпатья, вес. %<sup>ж</sup>

Местонахождение	C	H	O	S	N	C/H атом.
Боркут	90,16	8,75		1,09		0,86
Закарпатья	87,13	6,10	5,6	0,5	0,65	1,19
Уфимское плато	78,28	6,36	0,82	9,95	4,59	1,10
Река Косьва	85,23	11,95	0,28	2,38	0,16	0,59

\* Анализ I по А.Ф.Коржинскому и В.П.Калиш (1976), в мальте Боркута содержится смол 24,66, ароматики 5,8, нормальных парафинов 30,76, изопарафинов 9,07 и нафтеновых 29,62; анализы 2,3 и 4 приведены по данным В.Н.Флоровской и др. (1968), в мальте Закарпатья ими определено содержание масел 52,42, смол бензольных 5,98, смол спирто-бензольных 3,05 и асфальтенов 39,46%, карбоиды не обнаружены; примерно такой же компонентный состав характерен для мальт Уфимского плато и р.Косьвы.

В.Н.Флоровская и др. (1968) инфракрасной спектроскопией установили соединения с метильными ( $1380 \text{ см}^{-1}$ ) и метиленовыми ( $1460 \text{ см}^{-1}$ ) группами, ароматические углеводороды ( $1603, 1060, 1020, 965, 942 \text{ см}^{-1}$ ), твердые высокоплавкие парафины ( $720$  и  $730 \text{ см}^{-1}$ ), карбонильные группировки ( $1718, 1735 \text{ см}^{-1}$ ), а по данным тонкоструктурной люминесцентной спектроскопии обнаружены полициклические ароматические углеводороды (1,12-бензперилен; 3,4-бензпирен, коронен).

Изотопный состав углерода ( $\delta^{13}\text{C}$  равен  $-2,25$ – $-2,40\%$ ) указывает на нефтяную природу мальты Боркута (Коржинский, Калиш, 1976).

Мальты, как и все СУМ, отлагались в пострудную стадию в тесном парагенезисе с кальцитами остроромбоздрического  $\{02\bar{2}1\}$  габитуса при температурах  $60$ – $50^\circ\text{C}$ . Кристаллизация кальцита на флангах ртутных месторождений сменилась давсонитизацией, что указывает на смену слабокислых-нейтральных гидротерм на щелочные и на повышенную активность кислорода (Зацеха, 1976).

Асфальт описан как "твердый аморфный битум" и под синонимом "кертисоид" (Гринберг и др., 1964). Встречается в виде "капельных" скоплениях от нескольких миллиметров до одного-двух сантиметров, внутри которых вырастают кристаллы кертисита и карпатита (Боркут, Грендеш, Ровное, Каменный карьер, Малый). Образует также натеки, корки на кристаллах киновари, кварца и кальцита. Цвет красный, коричневый, бурый до черного. Черта желтая до коричневой. Мягок. Асфальт аморфен.  $n = 1,680 \div 1,700$ . Люминесцирует в желтых цветах, что отвечает смолисто-асфальтовому типу битумоида.

Химический состав асфальтов Закарпатья приведены в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Элементный состав асфальтов Закарпатья, вес.%

Местонахождение, разновидность	C	H	O	S	N	C/H атом
Оленево:						
1. Черный	90,14	5,51	$\overbrace{4,32}$			1,36
2. Коричневый	89,48	5,82	$\overbrace{4,70}$			1,28
3. Бурый	85,4	6,25		8,35		1,13
Боркут:						
4. Бурый	76,69	6,60		16,71		0,96
Среднее для асфальтов (Мелков, 1975)	77-86	9-11	5,4-0,2	7-0,2	3-0,6	1,0-0,75

Примечание. Анализы 1 и 2 по М.Д.Братусю и др. (1975); анализы 3 и 4 по А.Ф.Коржинскому и В.П.Калиш (1976).

ИК-спектроскопией установлены метиленовые группы ( $1460 \text{ см}^{-1}$ ) C-H-связи алифатических структур (очень слабая полоса  $1380 \text{ см}^{-1}$ ), бициклические ароматические структуры ( $805, 750 \text{ см}^{-1}$ ), S-O-связи (очень слабая полоса  $705 \text{ см}^{-1}$ ). По данным А.Ф.Коржинского и В.П.Калиш (1976), установлено присутствие групп  $\text{OH}$ ,  $\text{NH}$ ,  $\text{C}=\text{C}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}=\text{O}$ ,  $\text{COOH}$  и  $\text{CN}$ , что, по их мнению, указывает на смесь кетонов, олефинов, нефтенов и карбоновых кислот.

Растворимость асфальтов в хлороформе и спирто-бензоле полная.

Термический анализ показал четкие эндоэффекты:  $60^\circ\text{C}$  (размягчение, плавление),  $200 - 230$  (плавление) и  $430$  (газовыделение) и экзоэффекты при  $360$  и  $570-710^\circ\text{C}$ . Характер кривой не отличается от кривых ТДА группы асфальто (Иванова, 1974).

Изотопный состав углерода асфальтов также указывает на их нефтяную природу:  $\delta^{13}\text{C} = -2,82\%$  (Боркут) и  $-2,72 - 2,11\%$  (Оленово), соответственно по данным А.Ф.Коржинского, В.П.Калиш (1976) и М.Д.Братуся и др. (1975).

Желтый битум встречен на кальцитах остроромбоздрического {02 $\bar{1}$ 1} габитуса месторождения Грендеш. Он образует довольно эластические корки. Данные ИКС и ТДА позволяют условно отнести его к группе гуминокеритов.

Проблематичен минеральный вид, описанный впервые для района Кобылецкой поляны и с.Новоселица (Архипова, 1951) как элькерит. В настоящее время обнаружен в постоянной ассоциации с гидротермальным кварцем типа "мармарошских диамантов", иногда с реальгаром, от Чивчинских гор Украинских Карпат на юго-востоке до сел Турица, Черноголово на западе. Встречается в виде скоплений, вкрапленности.

Минерал имеет смоляно-черный цвет. Блеск сильный. Черта черная. Твердость около двух. Плотность  $1,1 - 1,2$ . Хрупок.

Люминесцирует в белесо-зеленоватых тонах. На дифрактограмме появляются слабые отражения ( $4,8$ ;  $3,43$ ;  $3,10$ ;  $1,901 \text{ \AA}$ ). Химический состав (%) следующий:  $\text{C} - 70,90 - 71,38$ ;  $\text{H} - 5,93 - 4,80$ ;  $\text{S} - 0,95 - 0,44$ ;  $\text{N+O} - 22,22 - 23,32$ ; атомарное отношение  $\text{C/H} - 0,99 - 1,24$  (по данным Архиповой, 1951).

Растворимость в хлороформе и спирто-бензоле частичная. Из минерала экстрагирован маслянисто-смолистый битумоид А, люминесцирующий желтым цветом капилляров и беловато-голубым раствором, что указывает на содержание масел более  $60\%$  и асфальтенов  $\text{I} - 2\%$ .

Вероятно, что элькерит Карпат является окисленным керитом. Этот вывод основывается на ДТА (эндоэффекты при  $180$  и  $470^\circ\text{C}$  и экзоэффекты при  $380$  и  $820^\circ\text{C}$ ), рентгеновских отражениях и парагенезисе (минерал часто бывает включен на внешних зонах кристаллов кварца, первичные включения в котором содержат метан, нефть, твердые смолистые вещества и водный раствор; гомогенизация первичных включений происходит при  $140 - 170^\circ\text{C}$ ). Очевидно, описанный минерал - продукт разрушения нефтяных зале-

лей Карпат под влиянием вулканогенно-гидротермальной деятельности неогенового магматизма.

Подкласс простых углеводородов представлен группой природных парафинов. Это бесцветные до светло-желтого воскообразные агрегаты мелких чешуек со совершенной спайностью по базопинакноиду. Существуют два синонима этого минерала: гатчеттит (Мерлич, Спитковская, 1955) и просто парафин (Гринберг, Шиманский, 1964; Братусь и др., 1975; Коржинский, Калиш, 1976).

Для гатчеттита приводится:  $n_g = 1,569$ ;  $n_m = 1,510$ ;  $n_p = 1,508$ ;  $2v = +26^\circ$ ;  $r > v$ . Твердость 1. Плотность 0,902. Плавится при  $64,5^\circ\text{C}$ . Формула:  $\text{C}_{40}\text{H}_{82}$ . По данным А.Ф.Коржинского и В.П.Калиша (1976),  $n_m' = 1,525 \pm 0,005$ , что близко к гатчеттиту по Е.Ларсену и Г.Берману:  $n_g = 1,588$ ;  $n_m = 1,523$ ;  $n_p = 1,518$ ;  $2v = +33^\circ$ ; плотность 0,96; плавится при  $80^\circ\text{C}$ . Формула почти не отличается:  $\text{C}_{38}\text{H}_{78}$ . Минерал из группы парафинов отмечен на стенках вакуолей в кварцах типа "мраморошских диамантов" Косовской поляны (Калужный, Сворень, Платонова, 1974).

Рентгенограммы описываемых минералов сходны (Å):

Парафин Боркута	4,6; 3,74; 3,33; 2,47; 2,23
Парафин Косовской поляны	4,6; 3,79; 3,36; 2,51; 2,23
Эвекит ( $\text{C}_{24}\text{H}_{50}$ ; плотность 0,759; температура плавления $47^\circ\text{C}$ )	4,18; 3,74; 2,25

Как видим, во всех источниках описывается один и тот же минеральный вид - гатчеттит, который полностью растворяется в спиртобензоле и хлороформе. Изотопный состав углерода ( $\delta\text{C}^{13} = -3,1\%$ ) не отличается от состава нефтей.

Подкласс кристаллических смол представлен кертиситом из группы кертисита и карпатитом из группы карпатита.

Кертисит - типоморфный минерал ртутных парагенезисов, отлагавшийся в конце пострудной стадии. Морфология, свойства, химический состав и рентгенограмма приведены в работах Г.Л.Пиотровского (1955), Е.К.Лазаренко и др. (1963), А.Ф.Коржинского, В.П.Калиша (1976) и др. Нани дополнены данные о растворимости, ИКС и ДТА. Изотопный состав углерода почти аналогичен составу углерода ассоциирующего с ним асфальта:  $\delta\text{C}^{13} = -2,35 \pm 2,65\%$  (Братусь и др., 1975).

Несмотря на довольно хорошую изученность кертисита вопрос о кристаллохимической формуле не решен. По Е.Ларсену и Г.Берману, она имеет вид  $\text{C}_{60}\text{H}_{400}$ , а по Е.К.Лазаренко и О.Н.Вынар (1975),  $\text{C}_{24}\text{H}_{180}$ .

Карпатит впервые описан Г.Л.Пиотровским (1955) и по его данным является природным антрахиноном. Близость такого утверждения подтвердили квазилинейные спектры люминесценции (Теплицкая, 1971), указывающие на присутствие в карпатите многоядерных ароматических углеводородов: 1,12-бензперилена и коронена.

На основании сказанного выше можно сделать вывод, что в ближайшее время необходимо уделять больше внимания вопросам конституции ОУМ с применением тонких методов исследования, а также типоморфному значению выделенных двух гомологических рядов: 1) мальята - асфальт - кертисит-карпатит; 2) метан - парафины.

В ртутных парагенезисах Донбасса обнаружены многочисленные ОУМ, но их изучение находится на стадии диагностики. Предварительно диагностировано только несколько минералов, относящихся к классам твердых углеродистых минералов и солей органических кислот.

Подкласс аморфных "битумов" представлен асфальтом и осерненным оксикеритом из группы гуминкеритов.

Асфальт встречается в виде бесформенных скоплений и примазок желтого и оранжевого цвета. По данным С.В. Кузнецовой, И.М. Руденко, В.И. Скаржинского (1967), минерал аморфный,  $n = 1,573 \div 1,577$ . Содержит на органическую массу 73,19% углерода и 2,03% водорода. Люминесцирует в белесовато-желтых тонах. Авторы ошибочно определили минерал как кертисит. Судя по свойствам, - это битум из группы асфальта.

Генезис минерала низкотемпературный гидротермальный, его образование связано с пострудной (киноварной) стадией минерализации (Адамовский, Дружковско-Константиновский участки).

Осерненный оксикерит определен Т.В. Дроздовой, К.И. Якубовичем, Б.Ф. Константиновым (1964) в составе флюоритовых агрегатов Покрово-Киреевского региона. Среди органических фракций ими выделено высококонденсированное углеродистое вещество состава:  $C = 70,6$ ;  $H = 2,8$ ;  $O+N = 19,3$ ;  $S = 6,8$  вес.%. Отношение  $C/H$  атом. = 2,10. Не растворяется в органических растворителях, щелочах и кислотах.

Генезис оксикерита гидротермальный ( $280 - 60^{\circ}C$ ). Он возник за счет преобразования органического вещества известняков.

Подкласс пиронафтоидов - "апонифтиды" представлен антраксолитом (Никитовка, Восточно-Доломитный карьер г. Докучаевска).

Вещество угольно-черного цвета наблюдалось в виде ксеногенных включений в жильном кварце Восточно-Доломитного карьера. Цвет черты черный. Блеск сильный, полуметаллический. Не растворяется в органических растворителях, щелочах и кислотах.

Микрорентгенограмма,  $\lambda$  (главные линии, в скобках указана интенсивность: 4,05(5); 3,30(10); 2,82(9); 2,08(5); 2,03(4); 1,150(4)) имеет большое сходство с графитом. Таким образом, исследуемое вещество является антраксолитом.

Генезис гидротермальный ( $220 - 180^{\circ}C$ ); антраксолит образовался за счет органического вещества доломитов и доломитизированных известняков в дофлюорит-киноварную стадию минерализации.



Углеподобное вещество, встреченное в составе руд Никитовки на восточном фланге шахты 2-бис, является технологическим продуктом коксохимического завода и должно быть исключено при изучении ртутных парагенезисов. ИК-спектроскопией в его составе определены димеры карбоновых кислот, перекиси и другие группы, подтверждающие полевые наблюдения.

Подкласс оксалатов представлен квеллитом (Славянское рудопоявление); он был изучен С.В.Кузнецовой, О.Л.Литвин (1968). Параметры элементарной ячейки квеллита не совпадают с кристаллографическими. Нами изучается эта проблема в связи с находкой хорошо ограниченных кристаллов, образованных формами призм  $\{110\}$ ,  $\{120\}$  и  $\{021\}$  и пинакоидов  $\{001\}$ ,  $\{010\}$  и  $\{10\bar{1}\}$ .

Минерал люминесцирует в желтых тонах. ИК-спектроскопией обнаружены димеры карбоновых кислот (слабая полоса в области  $2380 \text{ см}^{-1}$ ),  $\text{CO}$ -связи (сильная широкая полоса  $1660 \text{ см}^{-1}$ ),  $\text{CaO}$ -связи (полоса средней интенсивности  $880 \text{ см}^{-1}$ ),  $\text{COOH}$  карбоновых кислот (полоса средней интенсивности  $950 \text{ см}^{-1}$ ). В квеллите наблюдаются включения черного органического вещества, хорошо растворимого в хлороформе, а также люминесцирующего в бледно-синеватых зонах. Это позволяет отнести органическое вещество к группе асфальтита, богатого легкими углеводородами. По-видимому, очень интенсивные полосы поглощения  $1325 \text{ см}^{-1}$  (п-алкильные соединения, парафиновые кислоты) и  $780 \text{ см}^{-1}$  (бициклические ароматические структуры) отвечают включениям асфальтитов.

Парагенезис квеллита указывает на его кристаллизацию в конце ртутной стадии (ниже  $70^\circ\text{C}$ ) из слабощелочных растворов, содержащих 20-30 г на литр солей, в основном  $\text{NaCl}$  и 44,5% углекислоты и 55,5% метана в газовой фазе (Зациха и др., 1973). Ассоциация квеллита, органического вещества, углекислоты и метана закономерна для низкотемпературных гидротермальных растворов солянокупольных структур.

Таким образом, применяя комплекс диагностических свойств для органических углеродсодержащих минералов и придерживаясь современных классификаций ОУМ, возможно конкретизировать все известные вещества как отдельные минеральные виды и разновидности и сократить число названий минералов, а также выявлять новые ОУМ ртутных парагенезисов.

В.К.Лазаренко

#### НОМЕНКЛАТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

Первая и, по существу, единственная классификация процессов минералообразования принадлежит А.К.Болдыреву (1924), рассмотревшему их в зависимости от места возникновения активного вещества, температуры и давления, а также механизма минералообразования. Все процессы он разделил на космогенные, эндотегенные, аутигенные и экзотегенные, в пределах

которых выделил процессы магматогенные, пневматогенные и эндогидатогенные (среди эндотегенных), термогенные и пьезогенные (среди аутигенных), экзогидатогенные, пегнитогенные, биогенные и аэрогенные (среди экзогенных).

В той или иной степени процессы минералообразования рассматривались в курсах и руководствах по минеральным месторождениям (В.Линдгрэн, В.А.Обручев, П.М.Татаринов и др.).

Предлагаемая классификация построена на тех же принципах, что и классификация А.К.Болдырева. В ней наименование процессов выражается прилагательным, образованным от названия механизма минералообразования с помощью окончания "генный" (от греч. генезис - происхождение).

Все процессы делятся на четыре типа: эндогенные, экзогенные, космогенные и техногенные.

В эндогенных условиях минералообразование совершается как за счет непосредственной кристаллизации из магмы (магматогенный подтип), так и за счет преобразования под влиянием магматических тел уже существующих минеральных комплексов (метаморфогенный подтип).

В магматогенном подтипе выделяются четыре класса: собственно магматогенный, пегматогенный, пневматогенный и эндогидатогенный.

Эндогидатогенный процесс имеет место тогда, когда охлаждающийся магматический расплав достигает критической температуры  $H_2O$ , главного летучего компонента, ниже которой происходит его сжижение и минералообразование совершается из горячих водных растворов.

Поскольку горячие водные растворы в условиях земной коры могут иметь и иное происхождение, например, опустившиеся в зону глубокой циркуляции метеорные воды, воды метаморфогенного характера или воды трансвапоризации, природа которых не всегда может быть установлена, то термин "эндогидатогенный" (от греч. эндон - изнутри, гидатос - вода и генезис - происхождение), мы предпочитаем термину "гидротермальный".

В пределах классов магматогенного подтипа эндогенного типа выделяются следующие подклассы: раннемагматогенный, позднемагматогенный и ликвациогенный (в собственно магматогенном классе), собственно пневматогенный, акзгалициогенный и скарногенный (в пневматогенном классе), плутоногенный, вулканогенный и амагматогенный (в эндогидатогенном классе).

В метаморфогенном подтипе выделяются три подкласса: контактово-метаморфогенный, регионально-метаморфогенный и ударно(импактно)-метаморфогенный.

Экзогенный тип представлен двумя классами: экзогидатогенным (с гипергенным подклассом и двумя семействами: собственногипергенным и инфльтрационным) и седиментогенным с подклассами: механогенным, хемогенным и биохемогенным.

В пределах подклассов выделяются ряды, объединяющие процессы сингенеза и процессы эпигенеза.

Схема классификации процессов минералообразования

Тип	Подтип	Класс	Подкласс	Семейство	Ряд	Группа		
I. Эндогенный	I. Магматогенный	I. Собственно-магматогенный	1. Раннемагматогенный					
			2. Позднемагматогенный					
			3. Ликвациогенный					
				2. Пегматогенный				
				3. Пневматогенный	1. Собственно-пневматогенный		1. Сингенный	
					2. Экзгаляциогенный		2. Эпигенный	
					3. Скарногенный			
				4. Эндогидатогенный	1. Плутоногенный			
					2. Вулканогенный			
					3. Амагматогенный			
	2. Метаморфогенный		1. Контактново-метаморфогенный			Процессов, формирующих минеральные виды определенных ассоциаций		
			2. Регионально-метаморфогенный					
			3. Ударно (импактно)-метаморфогенный					
II. Экзогенный		1. Экзогидатогенный	1. Гипергенный	1. Собственно-гипергенное				
		2. Седиментогенный	1. Механогенный	2. Инфильтрационное				
			2. Хемогенный					
			3. Биохемогенный					
III. Космогенный								
IV. Техногенный								

Термином "экзогенный" нами объединены все процессы минералообразования, связанные с водными растворами, циркулирующими в верхних толщах земной коры. Часть из них может иметь глубинное происхождение, например изливающиеся на поверхность термальные воды, но вступив в область экзогенных процессов, они приобретают характер поверхностных растворов.

Космогенные процессы происходят в космическом пространстве. Они изучены на метеоритах и минералах Луны.

Техногенные процессы совершаются на земной поверхности под влиянием технической деятельности человека. К минералам, образованным в результате техногенных процессов, принадлежат минералы, возникающие на терриконах угольных шахт, в карьерах горных предприятий, а также в подземных горных выработках. К техногенным должны быть отнесены также химические соединения, полученные на заводах и в лабораториях, и по своему составу отвечающие минералам ("искусственные минералы").

Низшей таксономической единицей в приведенной классификации являются группы, объединяющие процессы, формирующие минеральные виды, которые образуют определенные ассоциации. В большинстве случаев на группы подразделяются ряды, а иногда непосредственно подклассы.

В развернутом виде схема классификации процессов минералообразования приведена в таблице.

## СОДЕРЖАНИЕ

ЛАЗАРЕНКО Е.К. Предмет и задачи минералогии . . . . .	3
ПОВАРЕННЫХ А.С. Основные понятия современной минералогии . . . . .	8
БОКИЙ Г.Б. К вопросу об определении основных понятий минералогии . . . . .	11
ЛАЗАРЕНКО Е.К. Таксономические категории минералогии . . . . .	16
БУЛКИН Г.А., НИКИФОРОВА Т.В., ТОЛЕНЕВ А.Е. О разработке классификаторов по минералогии . . . . .	29
БОКИЙ Г.Б., КОЧАНОВА Н.Н., АНИСИМОВА М.П. Информационно-семантические проблемы в минералогии . . . . .	35
СЕРГТЧЕВ В.Н. Роль анатомии индивидов в развитии основных понятий минералогии . . . . .	38
БУЛАХ А.Г. О содержании понятий "минерал" и "минеральный вид" . . . . .	43
ГРУДЕВ А.П., ЯХОНТОВА Л.К. Минеральные разновидности и методика их выделения . . . . .	46
БЕЛЛОУС Н.Х. О необходимости уточнения понятия "минерал" и номенклатуры изоморфно сложных минералов с учетом дополнительных классификационных показателей . . . . .	53
СМИРНОВА Н.Л. Значение понятия "полиморфная модификация" для определения понятий "минеральный вид", "минерал" и др. . . . .	58
ПАВЛИШИН В.И. О сущности типоморфизма минералов (история, задачи, определение понятий и классификация типоморфных особенностей минералов) . . . . .	59
МЕЛЬНИКОВ В.С., ПАВЛИШИН В.И. Структурный типоморфизм минералов . . . . .	68
НОВГОРОДОВА М.И. О номенклатуре природных твердых растворов в бинарных металлических системах с признаками дальнего и ближнего порядка . . . . .	70
ОСТРОВСКАЯ И.В. Выделение минеральных видов в пределах многокомпонентных твердых растворов по методу Болдырева (на примере группы роговых обманок) . . . . .	74
КАРАСИК М.А. О возможном значении типоморфных признаков минералов для их естественной классификации . . . . .	74
ПАВЛИШИН В.И. Типоморфные признаки магнетитовых руд, определяющие технологические особенности . . . . .	77
ВАЛЬТЕР А.А., ГУРОВ Е.П., ГУРОВА Е.П., РАКИЦКАЯ Р.Б. Типоморфизм минералов взрывных метеоритных кратеров Украинского щита . . . . .	80
КАНИЩЕВА Л.И. Минералогические критерии глубинности минерализации олово-вольфрамового оруденения Приморья . . . . .	81
ДУНЬ В.С. Кристаллохимические классификации по структурным типам на примере минералов, близких к колумбиту . . . . .	84
КОЗЫРЕВА И.В. К вопросу систематики "белых" слюд . . . . .	87
СУПРЫЧЕВ В.А., ГУБАНОВ И.Г. Опыт систематики минералов Крыма на кристаллохимической основе . . . . .	93
ТАРАСЕНКО В.С., БОЙКО Д.Д., ПОЛЖАНОВ Ю.А. О номенклатуре продуктов гипергенного изменения ильменита . . . . .	97

ХОДКОШ Л.Я. Морфологические разновидности гематита, номенклатура, терминология и классификация на примере железорудных месторождений Украинского щита . . . . .	101
ЕРЕМЕНКО Г.К., ПОЛКАНОВ Ю.А. Современные представления о минералах углерода . . . . .	103
ЛАЗАРЕНКО Е.К. Схема генетической классификации минералов . . . . .	106
ПЕТРОВСКАЯ Н.В. Закономерные сообщества минералов, в частности парагенетические (понятия, термины) . . . . .	116
ЗАЦИХА Б.В., ЛЮБИНЦКАЯ А.В. К вопросу выделения основных классификационных единиц органических углеродсодержащих минералов по комплексу диагностических свойств (на примере ртутных парагенезисов Украины) . . . . .	126
ЛАЗАРЕНКО Е.К. Номенклатура и классификация процессов минералообразования . . . . .	133

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МИНЕРАЛОГИИ

Сборник научных трудов

Печатается по постановлению

Комиссии по минералогической терминологии и номенклатуре  
Всесоюзного минералогического общества и по постановлению Президиума  
Украинского минералогического общества

Редактор Д.А.Левчук

Оформление художника А.А.Шулевского

Художественный редактор Н.Е.Петриченко

Технический редактор Т.М.Зубрицкая

Корректор Л.Ю.Каменских

Информ. бланк № 2225.

---

Подп. к печ. 23.03.78. БФ 09198. Формат 60x84/16. Бумага офс. № 2.  
Усл.печ.л. 8,14. Уч.-изд.л.9,23. Тираж 800 экз. Заказ 8-361. Цена 90 коп.

---

Издательство "Наукова думка". 252601, Киев-4, ГСП, Решина, 3.  
Киевская книжная типография научной книги Республиканского производствен-  
ного объединения "Полиграфкнига" Госкомиздата УССР, 252004, Киев-4, Ре-  
шина, 4.



90 коп.

2695

«НАУКОВА ДУМКА»