

т. е. сформулировать понятие о классификационной единице — минеральном виде. Определение понятия минерального вида в современном представлении, как известно, также подвергалось дискуссии в мировой литературе (например, в статьях А. Винчелла). В настоящее время мы и большинство минералогов под термином «минерал» понимаем твердые, однородные в физико-химическом смысле составные части земной коры, представляющие собою индивидуализированные химические соединения, образовавшиеся в результате тех или иных геохимических процессов. Согласно этому представлению, наиболее важными и распространенными минералами будут тела твердые, кристаллические, которые и рассматриваются в современных классификационных системах. Отсюда вытекает и содержание понятия о минеральном виде — классификационной единице как кристаллическом теле однотипной структуры и состава, меняющемся в границах, определяемых: а) возможностью непрерывного изменения (смесительные кристаллы); б) невозможностью одновременного существования двух или нескольких фаз в известном интервале PT (давления, температуры) заданной физико-химической системы.

Из указанных положений вытекает и понимание того, что является главными, основными чертами, определяющими индивидуальные особенности минерального вида. Таковыми будут неразрывно и причинно связанные друг с другом состав и структура кристаллического тела, однозначно определяющие свойства, признаки различия-сходства у отдельных минеральных видов. Иными словами, это будут кристаллохимические особенности природного кристаллического минерала. Следствием из этих положений, подкрепляемых в последнее время большой суммой экспериментальных фактических данных, является представление о кристаллических минералах как об атомных или ионных (очень редко молекулярных) симметричных постройках. В кристаллических химических соединениях — минералах в подавляющем большинстве нет молекул, а есть только атомы или ионы (простые или комплексные), образующие определенный пространственный мотив в каждой кристаллической структуре. Классические химические представления о кристаллических минералах как молекулярных химических соединениях должны быть отброшены, а вместе с этим в основу современной классификации не может быть положен и чисто химический принцип, на котором базировалась ранее любая научная классификация минералов. Отсюда, однако, не следует делать второй крайне ошибочный вывод, что определяющим кристаллическую структуру моментом является только геометрия — пространственная симметрия расположения материальных точек в кристаллической структуре. Кристаллохимические представления — это химические представления о химии кристаллических соединений, отражающие специфику химии кристаллов атомного или ионного строения. Сводить кристаллохимию к геометрии структур или противопоставлять, как это часто делается, кристаллохимические представления чисто химическим в корне неверно, так как это ведет к ошибочным представлениям о принципах современной систематики кристаллических минеральных видов.

Исходя из высказанных выше представлений, попытаемся определить, что же является общим важнейшим и основным, что может быть положено в основу современной классификации минеральных тел; что определяет собою химические и связанные с ними основные физические особенности твердых кристаллических тел — минералов. Учитывая известные к настоящему времени позитивные данные по химии кристаллических тел (кристаллохимии), определяющими факторами можно считать: а) типы химических связей в кристаллах (металлические, ковалентные, ион-

ные, вандерваальсовские, остаточные и др.); б) качественный состав атомов, входящих в кристалл и связанных друг с другом через тот или иной тип химической связи; в) как и чем окружены атомы (ионы) в кристаллической пространственной структуре, т. е. координация, тип упаковки и, наконец, мотив структуры. Мне кажется излишним доказывать, что эти три главных фактора, определяющих кристаллохимическую индивидуальность любого кристаллического химического соединения, по существу управляются силами, вытекающими из индивидуальных свойств самих атомов, т. е. структуры их ядра, внутренних и внешних электронных оболочек. Эти качества атомов выражаются через степень так называемой электроотрицательности (т. е. энергетической способности отрывать и присоединять электроны внешних валентных оболочек соседних атомов), величину энергетической сферы (так называемый радиус иона или атома), способность поляризовать поля соседних атомов и т. д. Не входя в дальнейшие подробности, важно напомнить, что эти же три главных фактора определяют химию и термодинамику кристаллических соединений, а также их свойства: химические (растворимость и проч.), физические (твердость, оптические свойства, цвет, блеск, уд. вес и др.) и, вероятно, геохимические, в смысле связи определенных групп кристаллохимических соединений с термодинамическими равновесиями в определенных природных процессах. Отсюда ясно, что именно эти, а не другие критерии в сумме определяют черты сходства или различия в природных минералах и должны быть положены в основу современной классификации. Между тем, хотя высказанные положения вполне отвечают современному уровню знаний, до настоящего времени нет единой научной классификации минералов, основанной на указанных принципах. До сих пор в учебной и научной литературе разных стран излагаются или предлагаются классификации, отражающие ряд направлений и до настоящего времени сохранившиеся в минералогии.

Таковыми направлениями являются:

1. Чисто химические направления, идущие от исторически сложившихся традиций в минералогии XIX и начала XX столетия, отражавшие в свое время весьма прогрессивное течение минералогической мысли, возглавляемое такими крупнейшими учеными, как И. Берцелиус, М. Клапрот, Дж. Дэна, П. Грот, В. И. Вернадский и др. На уровне знаний того времени ими были созданы универсальные классификации, сыгравшие исключительно прогрессивную роль (например, введение В. И. Вернадским понятия об алюмосиликатах). Однако в настоящее время мы должны признать ограниченность этого направления, связанную с необходимостью принятия чисто молекулярных представлений о типах химических соединений, что в реальных кристаллических минералах, как указано выше, не имеет места. Поэтому в настоящее время чисто химическое направление, а следовательно, и соответствующие классификации изжили себя и не отражают современного уровня знаний.

2. Чисто кристаллографическое направление также имеет глубокие исторические корни в минералогии. Оно шло от изучения свойств природных кристаллов (Гюйгенс) через попытку объяснить сходства и различия в природных минералах посредством различия или сходства внешней структуры кристаллических многогранников (R. J. Haüy, Linnaeus). Это направление обогатило минералогию разработкой другой стороны вопроса о природных кристаллических телах — учением о симметрии, сходстве и подобии в геометрической структуре кристаллических тел (работы W. Miller, C. F. Naumann, P. Niggli и др.). Однако одностороннее увлечение чистой геометрией кристаллических решеток привело к созда-

нию классификаций, объединяющих минеральные тела только по признаку геометрического сходства или различия, например классификации П. Нигли (Niggli, 1924), которые, оторвавшись от конкретной химии соединений, конечно, оказались ограниченными, объединяющими в классы и группы минералы с совершенно различными свойствами и геохимией. В чистом виде, бесспорно, и это направление изжило себя и не отвечает известным нам сейчас фактам.

На рубеже XIX и XX столетий в работах нашего ученого Е. С. Федорова и особенно после открытия Лауе (Laue) дифракции рентгеновских лучей в кристаллах, в работах В. Брегга, Е. Шибольда и других, из синтеза позитивных данных, полученных указанными выше двумя направлениями, зародилось новое — кристаллохимическое направление. Это направление рассматривает минерал как кристаллическое химическое соединение, свойства которого определяются составом реальных атомов или ионов, строящих кристалл, и их геометрическим пространственным положением в кристаллической решетке. Это быстро развившееся направление продвинуло теоретическую и практическую минералогию далеко вперед, обогатило науку многими новыми фактами и, естественно, по-новому поставило вопрос о принципах, которые должны быть положены в основу современной классификации минералов. Такие кристаллохимические классификации, более или менее законченные, и были предложены учеными различных стран, но они не свободны от груза старых представлений, а также недостатков, унаследованных от двух исторических направлений. Благодаря этому и в современных кристаллохимических классификациях мы имеем как бы два направления, которые я позволил бы себе назвать: а) формально кристаллохимическим, базирующимся только на геометрии мотивов кристаллических структур (например, Machatschki, 1953); б) кристаллохимическим с уклоном в классическую молекулярную химию, по существу группирующим минералы главным образом по типам химических соединений (например, Strunz, Berman, Frondel и Palache в книге Dana's System, 1944—1946, и др.).

Не можем мы согласиться и с принципом выделения основных классификационных единиц (классов) только по признаку геометрического сочленения атомов или структурных радикалов, как предлагает, например, А. С. Поваренных (1956). Этот принцип должен, несомненно, учитываться в любой «кристаллохимической» классификации, но ведущим он может являться, как показывают реальные данные, только для соединений, в радикалах которых имеется центральный катион определенной энергетической характеристики (напр., Si или В). Это давно принято для силикатов и, возможно, может быть принято, как показал в своем обобщении А. С. Поваренных, для боратов. В классификации И. Костова (1954) делается попытка примирения чисто химических принципов с кристаллохимическими. Одновременно в классификацию им вводятся и геохимические критерии. Однако нам представляется, что этот в принципе интересный подход не привел пока его автора к удовлетворительному результату.

Не вдаваясь в подробное изложение и рассмотрение упомянутых выше и схематически представленных в табл. 1 главнейших из предложенных классификаций, так как они изложены в широко известных справочниках и руководствах, остановлюсь лишь на некоторых критических замечаниях. Классификация Ф. Махачки (Machatschki, 1953), изложенная им очень подробно, построена на выделении крупных разделов (типы и классы) по типам соединений (классы, отвечающие типам АВ, АВ₂, АВС, АВС₂ и т. д.), определяемым отношениями катиона к аниону. Семейства

Таблица 1

Схема некоторых современных кристаллохимических классификаций

Классификация Штрунца (1941)	Классификация в Dana's System of Mineralogy (1944—1946)	Классификация А. Винчелл и Г. Винчелл (1951)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Элементы 2. Сульфиды и их аналоги (селениды, арсениды, теллуриды) 3. Галогениды 4. Окислы и гидрокислы 5. Нитраты, карбонаты и бораты 6. Сульфаты и их аналоги (теллулаты, хроматы, молибдаты и вольфраматы) 7. Фосфаты и их аналоги (арсенаты и ванадаты) 8. Силикаты 9. Органические соединения 	<p>Тип I. Изодесмические соединения</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Самородные элементы 2. Сульфиды (с селенидами и теллуридами) 3. Сульфосоли 4. Простые окислы 5. Окислы U, Th, Zr 6. Гидроокислы 7. Сложные окислы 8. Сложные окислы, содержащие Nb, Ta, Ti <p>Тип II. Мезодесмические соединения</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Силикаты <p>Тип III. Анизодесмические соединения</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Галоиды 2. Карбонаты 3. Нитраты 4. Податы 5. Бораты 6. Сульфаты 7. Селенаты и теллулаты 8. Хроматы 9. Фосфаты, арсенаты, ванадаты 10. Антимонаты 11. Ванадиевые окисоли 12. Молибдаты и вольфраматы 13. Органические соединения 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Элементы 2. Галоидные соединения 3. Сульфиды 4. Окислы 5. Карбонаты, нитраты, иодаты 6. Прочие минеральные соединения углерода 7. Бораты 8. Сульфаты и проч. 9. Фосфаты и проч. 10. Силикаты

выделяются автором по признаку типа сочленения отдельных анионов в структуре по координации катиона и аниона, по симметрии решетки кристалла, в соответствии с чем каждое семейство имеет определенный символ симметрии. В целом получается классификация, достаточно стройная, но страдающая одним коренным недостатком: он заключается в принятии для объединения минералов чисто формального, только геометрически пространственного признака — расположения атома или иона в решетке. Получается система, собственно, не кристаллохимическая, а кристаллоструктурная, не отражающая роли выдвинутых нами важнейших факторов. В своей системе Ф. Махачки отрешается от конкретных химических особенностей атомов или ионов, строящих кристаллохимическую структуру, абстрагирует их до степени геометрических точек, образующих ту или иную пространственную вязь. Поэтому в одно семейство объединяются такие мине-

ралы, как галенит, периклаз, виллиомит, галит, кераргирит и др.; бромеллит (BeO) и цинкит попадают вместе с вюртцитом и гринокитом; селлаит и рутил (MgF_2 и TiO_2) образуют также одно семейство. В одно семейство попадают оливин, хризоберилл и трифилин, литиофилит и другие фосфаты марганца, лития и железа. Ясно, что эта система никак не вскрывает причин сходства и различия во всех свойствах минералов, имеет схоластичный характер и повторяет, правда на новой основе, ошибку, сделанную в свое время П. Нигли (Niggli, 1924) в предложенной им системе, основанной только на принципе сходства и подобия симметрии решеток кристаллов.

Другая крайность наблюдается в системах, предложенных Х. Штрунцем и авторами последнего издания минералогии Дэна. Классификация Штрунца, по существу, является мало разработанной и очень близка к старым химическим классификациям. На структурно-кристаллохимическом принципе построено лишь расчленение и классификация минералов в классе силикатов (выделение подклассов по структурному принципу и т. д.). Остальные классы разделяются по чисто химическому признаку — соотношению количества атомов аниона и катиона в простых соединениях (сульфиды, окислы и др.), а также на водные и безводные, на простые и комплексные соединения. Кристаллохимические структуры, их сходство, различие остаются в стороне, не участвуют как фактор, положенный в основу классификации. Следствием такого подхода бывают явные ошибки, например, объединение в один класс карбонатов, нитратов и боратов (по химическому сходству строения радикалов), не имеющих ни по геохимическим, ни по физическим и кристаллохимическим свойствам ничего общего, что доказывается отсутствием изоморфизма.

Наконец, обратимся к системе, предложенной группой американских минералогов, составителей последнего издания Dana's Mineralogy. Эта классификация внешне разработана гораздо более подробно и на первый взгляд кажется достаточно убедительной с кристаллохимических позиций. В ней введено бесспорно прогрессивное и отвечающее сущности внутренних свойств отдельных минеральных классов деление на типы по характеру однородности сил химической связи (изо-, мезо- и анизодесмические типы); учитывается принципиальное значение для кристаллохимии подобных соединений, вхождение добавочных (к главным) анионов и анионных групп и т. д. Однако подробное рассмотрение ее показывает, что по существу и в главном она является чисто химической, страдая недостатками, естественно присущими классификациям этого типа. Выделение классов неубедительно и отвечает часто второстепенным химическим признакам. Так, например, окислы поделены на пять классов, в то время как сульфиды, арсениды, теллуриды, селениды по-прежнему, несмотря на резкие отличия этих соединений, объединяются в одном классе. Систематика минералов внутри классов также основывается либо на принципах формального сходства в физических свойствах (например, в самородных элементах), либо по типам соединений (как у Штрунца) и не учитывается, что один и тот же тип соединений даже в одном классе (например, AX—PbS , ZnS , HgS , NiAs) может резко отличаться кристаллохимически, а следовательно и по основным свойствам. Все это заставляет нас признать и эту классификацию, и подобные ей не удовлетворяющими основным принципам, которые должны быть положены в основу современной классификации минералов. В предлагаемой нами классификации, основная схема которой дается ниже, мы пытались, основываясь на изложенных нами вначале принципах, изб-

жать недостатков, присущих, по нашему мнению, известным нам систематикам. Основываясь на работах русских и зарубежных кристаллохимиков, мы пытались полученные ими данные, так же как и данные, полученные геохимиками и минералогами, положить в основу единой схемы, которая отражала бы конкретную химию кристаллических минералов и структурные особенности их кристаллических построек, определяющими в единстве сходство или различие в свойствах, а быть может и в геохимии природных соединений. Совершенно ясно, что фактическое состояние кристаллохимической изученности структуры природных минералов таково, что оно не позволяет сделать все звенья единой классификации одинаково убедительными. Известно, что примерно из 2,5 тысяч установленных к настоящему времени минеральных видов структурно изучено едва ли более 350—400 минералов, что, естественно, предопределяет и трудности при построении абсолютно выдержанной кристаллохимической классификации. Однако к настоящему времени известны некоторые признаки и свойства, которые позволяют нам предположительно относить тот или иной минерал условно к тому или иному кристаллохимическому типу (величина параметров элементарной ячейки, симметрия решетки, габитус развития кристаллов, сумма оптических свойств и т. д.). При анализе нашей системы и положения конкретных минеральных групп и минералов в том или ином подклассе следует учитывать эту допускаемую нами условность. Всякая систематика зиждется на соподчинении друг другу основных признаков, определяющих существо объектов по нисходящим ступеням — от более общих к более частным. Выше мы выдвинули три группы определяющих факторов; разберем теперь, в каком же соподчинении они должны находиться в современной кристаллохимической классификации.

Наиболее общие признаки сходства и различия в крупных подразделениях кристаллических минералов мы можем найти в типе химических связей, характерных для тех или иных кристаллохимических соединений. Проявление тех или иных типов связи, зависящее, конечно, от атомного состава соединения, предопределяет, как известно, образование определенного типа кристаллических решеток — металлических (с металлическим типом связей), атомных (с металлической или ковалентной связью), ионных (с ионной или частично ковалентной связью) или молекулярных, резко отличающихся по основным присущим им свойствам. С другой стороны, ионные решетки могут качественно отличаться и по слагающим их структурным элементам: только простым ионам или также и комплексным анионам. Нам кажется, что на основании изложенных выше представлений возможно первичное деление минералов на четыре типа: I — атомные (частью ионные) решетки с металлическими и отчасти другими типами связи (ковалентная, молекулярная); II — ионные решетки, большей частью с ковалентным типом связи; III — типичные ионные решетки без комплексных анионных групп в структуре; IV — ионные решетки с наличием в структуре комплексного аниона.

Следующим по подчиненности фактором, который может и должен быть положен в основу деления минеральных видов на классы внутри выделенных типов, является качественный состав атомов, строящих ту или иную структуру, связанных через тот или иной тип связи. Рассмотрение кристаллохимических и даже чисто химических свойств соединений показывает, что определяющим их из многих атомов сложных соединений является все-таки анион. Соединения различной структуры с одинаковыми анионами, содержащие разные катионы, будут иметь больше общего, чем соединения с обратным соотношением. В этом смысле

давно подмеченный основной признак различия в химии соединений остается важным и в настоящее время. В соответствии с этим деление на классы в бинарных и более сложных соединениях (отвечающих кристаллохимическим структурам внутри II—IV выделенных нами типов) опирается на качественное отличие анионов, простых или комплексных. Опираясь на этот же принцип, внутри классов можно выделить крупные разделы в зависимости от наличия или отсутствия в кристаллохимической структуре добавочных анионов (например, F^{-1} , Cl^{-1} , OH^{-1} в узловом положении) к главному (например, O^{-2} , $[SiO_4]^{-4}$ и т. д.) или комплексных анионных групп (например, $[SO_4]^{-2} + [PO_4]^{-3}$, или $[SiO_4]^{-4} + [PO_4]^{-3}$ и т. д.). Совершенно очевидно, что нахождение или отсутствие в соответствующей структуре разнородных ионов существенно меняет кристаллохимию и, соответственно, свойства соединений. Несомненно, существенную разницу в свойствах соединений вызывает наличие или отсутствие кристаллизационной воды, играющей роль как бы буферной оболочки для катионов, в случае сочетания в структурах крупных анионов с мелкими катионами. Это обстоятельство также учитывается нами при выделении соответствующих крупных разделов внутри классов.

Исходя из сказанного, мы считаем не только правильным, но и необходимым выделение в отдельные классы интерметаллических соединений (твердые растворы с металлическим или ковалентным типом связей); разделение на отдельные классы сульфидов, арсенидов, теллуридов и селенидов; разделение на отдельные классы хлоридов, бромидов и иодидов, с одной стороны, и фторидов — с другой и т. д. Внутри классов мы выделяем раздел соединений простых и с добавочными или комплексными анионами. Каждый из последних разделов делится, в свою очередь, на безводные и с кристаллизационной водой.

Наконец, следующим в соподчиненности фактором является качественный состав катионов, входящих в кристаллохимическую постройку из тех или иных анионов, и то влияние, которое оказывается катионами на структуры. Широко известно, что такая энергетическая функция иона, как радиус иона, его способность отдавать или, наоборот, отрывать электрон от внешней электронной оболочки соседа, эффект поляризации и т. д. связаны причинно с возможной координацией его в структурах, а следовательно, в конечном счете, с тем или иным структурным мотивом, кристаллического соединения. С мотивом же структуры связаны проявления ряда физических свойств кристаллического вещества (спайность, оптические свойства и др.), обнаруживающие сходство для общих мотивов. Таким образом, конкретное качество катиона, входящего (в сочетании с определенным анионом) в состав кристаллов, определяет возможную структуру вещества для группы однотипных химических соединений, т. е. дает нам возможность дальнейшего деления минеральных тел на подклассы, определяемые общностью кристаллоструктурных моментов. По этому признаку нами выделяется следующий элемент классификационной схемы — подклассы. Среди того или иного класса минералов мы выделяем подклассы с плотнейшей кубической или плотнейшей гексагональной упаковкой, молекулярные структуры; среди ионных структур, в зависимости от типа соединения и координационных чисел, — подклассы со структурами типа куприта, тип антифлюоритовый, тип флюорита, тип сфалерита, тип NaCl, тип шпинели, тип рутила, слоистые, ленточные типы структур, с изолированными тетраэдрическими или треугольными радикалами и т. д. В результате в подклассе оказываются объединенными минералы, обладающие не только близостью типов химических связей, общностью в составе и качестве анионов, но и соедине-

ния однотипной структуры и подобного состава. Разумеется, как было уже нами отмечено, не все минералы могут быть нами уложены в определенные и изученные структурные типы. Многие из них, в силу нашего незнания, объединяются вынужденно в подклассы с неизученными структурами, помещаемыми обычно в заключение соответствующего раздела класса. Наконец, внутри соответствующих подклассов мы выделяем группы. В каждом подклассе однотипные структуры могут строиться ионами равной валентности, но различной степени электроотрицательности с различными ионными радиусами и т. д. Известно, что эти свойства ионов меняются в порядке слева вниз и вправо периодической системы элементов Менделеева. В этом же порядке последовательности рассматриваются и минералы, содержащие соответствующие ионы, и по этому уже наиболее тесному признаку родства объединяются в группы. Все изложенное выше может быть кратко отражено в следующей схеме предлагаемой нами кристаллохимической классификации минералов.

Тип I. Атомные (частью ионные) решетки с металлическим или ковалентным типом связи.

К л а с с ы: 1. Свободные атомы элементов. Подклассы: I. Структуры типа Cu; II. Структуры типа α Fe; III. Структуры типа Os; IV. Структуры типа Sb; V. Структуры цепочечного типа; VI. Слоистого типа; VII. Структуры типа алмаза; VIII. Молекулярные структуры.

2. Интерметаллические соединения. Подклассы: металлические атомные решетки со структурами не выясненного типа.

Тип II. Ионные решетки с ковалентным (реже ионным) типом связи.

К л а с с ы: 1. Сульфиды: А. Простые; Б. С комплексными анионами As, Bi, Sb и др. Выделяются подклассы со структурами: типа куприта, антифлюоритового типа, типа NaCl, типа сфалерита, типа вюртцита, типа сфалерита сдвоенного, типа NaCl с гантелями S_2^{-2} ; также ленточного, слоистого и молекулярного типа. Группа сульфидов с невыясненными структурами и т. д.

2. Арсениды: А. Простые; Б. С комплексными анионами. Выделяются подклассы со структурами: типа никкелина, типа NaCl с гантелями As_2^{-2} и др.

3. Антимониды: А. Простые; Б. С комплексными анионами. Выделяются подклассы со структурами: типа никкелина, типа NaCl, типа вюртцита.

4. Селениды. А. Простые. Выделяются подклассы со структурами: типа куприта, антифлюоритового типа, типа сфалерита, ленточного типа, слоистого типа.

5. Теллуриды. А. Простые. Подклассы со структурами: антифлюоритового типа, типа NaCl, типа сфалерита, ленточного типа, слоистого типа и др.

6. Хлориды, бромиды и иодиды (отчасти с ковалентными связями). А. Простые (безводные или с кристаллизационной H_2O); Б. Сложные, с добавочными анионами OH^{-1} , O^{-2} и др. Выделяются подклассы со структурами: типа NaCl, типа сфалерита, а также группа со структурами невыясненного типа.

7. Фториды. А. Простые. Б. Сложные безводные. В. С кристаллизационной водой и добавочными анионами.

Тип III. Типичные ионные решетки без комплексных анионных групп в структурах.

К л а с с: 1. Соединения с кислородом (окислы). А. Простые (безводные, или содержащие H_2O , или с добавочными анионами). Б. Сложные. Выделяются подклассы со структурами: типа куприта, типа NaCl, типа

рутила, типа флюорита, типа шпинели, типа перовскита, островного типа, ленточного типа, слоистого типа, молекулярные структуры и др.

Тип IV. Ионные решетки с наличием в структуре комплексного аниона.

Классы: 1. Ниоботанталаты и производные комплексных анионов Nb, Ta, Ti. А. Простые кристаллические тела. Б. Метаиктные (коллоидоподобные) тела. Выделяются подклассы со структурами: типа перовскита, типа рутила; также типы ABX_4 и AB_2X_6 .

2. Силикаты и-алюмосиликаты. А. Простые (безводные или с кристаллизационной H_2O , или с комплексными анионами). Б. Сложные с добавочными анионными группами O^{-2} , OH^{-1} , F^{-1} , Cl^{-1} и др. (безводные, или с кристаллизационной водой, или с комплексными радикалами). Выделяются подклассы со структурами: с изолированными тетраэдрическими группами, смешанного типа с наличием в структуре радикала $[Si_2O_7]^{-6}$, кольцевого типа, цепочечного типа, ленточного типа, слоистого типа, каркасного типа, с невыясненными структурами.

3. Бораты. А. Простые (безводные или с кристаллизационной H_2O). Б. Сложные с добавочными анионами OH^{-1} , O^{-2} , F^{-1} и др. (простые или с комплексными радикалами). Выделяются подклассы со структурами: с изолированными тетраэдрическими или треугольными радикалами, цепочечные, слоистые со сложными каркасами и др.

4. Фосфаты. 5. Арсенаты. 6. Ванадаты. 7. Сульфаты. 8. Хроматы. 9. Вольфраматы. 10. Молибдаты.

Во всех этих классах выделяются разделы соединений: А. Простые (безводные или с кристаллизационной H_2O). Б. Сложные с добавочными анионами OH^{-1} , Cl^{-1} , F^{-1} , O^{-2} и др. (безводные или с кристаллизационной водой или с комплексными анионами). Структурный подкласс — только структуры с изолированными радикалами тетраэдрического типа. Группы выделяются в соответствии с типом химических соединений: $A'_n[RO_4]_p$; $A''_n[RO_4]_p$; $A'''_n[RO_4]_p$ и т. д.; $A'_nA''_m[RO_4]_p$; $A'_nA'''_m[RO_4]_p$; $A''_nA'''_m[RO_4]_p$ и т. д.

11. Карбонаты. 12. Нитраты. Внутри этих классов выделяются разделы: А. Простые (безводные или с кристаллизационной водой). Б. Сложные с добавочными анионами $(OH)^{-1}$, F^{-1} , Cl^{-1} и др. (безводные, с кристаллизационной H_2O или с комплексными анионами). Структурный подкласс — только с изолированными треугольными группами $(CO_3)^{-2}$ или $(NO_3)^{-1}$. Разделение на группы по структурному типу химического соединения. Выделяются типы: $A'_n[RO_3]_p$; $A''_n[RO_3]_p$; $A'''_n[RO_3]_p$ и др.; $A'_nA''_m[RO_3]_p$; $A''_nA'''_m[RO_3]_p$; $A'_nA'''_m[RO_3]_p$ и др.

Изложенные нами выше общие принципы построения современной классификации минералов, равно как и сама предлагаемая классификация, конечно, не свободны от ряда существенных недостатков. Так, например, нами совершенно не учитывается и не обсуждается классификационная позиция целой группы органических соединений¹. В этом отношении мы разделяем позицию тех минералогов, которые считают каустобиолиты своеобразной группой полиминеральных соединений, несколько выпадающих из данного нами выше определения понятия «минерал». Вследствие этого нам кажется нецелесообразным и неправильным рассматривать их в ряду минералов и с этих же позиций.

Спорным безусловно может являться и вопрос о целесообразности введения понятия типов кристаллохимических соединений, как основы

¹ Нет солей органических кислот, которые равно как карбиды, фосфиды, антимианты и антимоанты и некоторые другие мелкие классы, не включены нами в общую схему классификации для упрощения, но легко могут найти в ней свое место.

для первичного классификационного деления минералов. Мы отлично сознаем, что внутри типов часто не выдерживается с абсолютной точностью в конкретных классах один и тот же тип химической связи и вынужденно объединяются иногда структуры металлического, ионного и даже молекулярного типа. Мы понимаем также, что понятия «ковалентная» и «ионная» химические связи часто трудно разделимы и условны. Однако все же, если брать критерием не принципиальность, а реальность, то выделяемые типы группируют классы с преимущественным развитием тех или иных типов химических связей, что предопределяет для этих классов сходство свойств внутри типов (например, для сульфидов и их аналогов, самородных элементов, за исключением алмаза и серы) и резкое отличие групповых свойств классов в различных типах (например, сульфиды и окислы, галоиды и др.). Исходя из этого, мы считаем целесообразным выделение типов, лишний раз подчеркивающих, что внешние свойства вещества есть отражение реально существующих внутренних причин.

Наконец, в изложенных нами соображениях о классификации совершенно не разбирается вопрос о месте коллоидных тел в предлагаемой классификации. Нам кажется совершенно бесспорным, что найти место бесструктурным телам в кристаллохимической классификации, построенной с позиций структурной минералогии, невозможно. Здесь можно и должно использовать только химические аналоги, поставив соответствующие коллоидные аналоги в заключение той группы, где помещен, естественно, аналог кристаллический.

Однако, несмотря на все имеющиеся недостатки и несовершенство, нам кажется, что предлагаемая новая система минералов отражает наиболее полно современный уровень наших минералогических представлений и может быть полезна как для учебных целей, так и для дальнейшего развития работ в области теоретической минералогии.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ¹

Тип I. Атомные (частью ионные) решетки с металлическим или ковалентным типом связи.

К л а с с: свободные атомы элементов.

Подклассы: I. Структура типа Cu: группа меди — золота. II — типа α Fe: группа железа. III — типа Os: группа осмия — рутения. IV — типа Sb: группа сурьмы — мышьяка. V — типа Te (цепочечные): группа теллура. VI — типа графита (слоистые): группа графита. VII — типа алмаза: группа алмаза. VIII — молекулярная структура: группа серы.

К л а с с: интерметаллические соединения.

Группа амальгамы, группа домейкита, группа дискразита, мальдонита, хедлейта.

Тип II. Ионные решетки с ковалентным (реже ионным) типом связи.

К л а с с: сернистые соединения.

Сульфиды простые. **Подклассы:** I. Структура типа куприта. II — антифлюоритового типа: группа дигенита. III — типа NaCl. IV — типа NaCl деформированная: группа герценбергита, киновари. V — типа никкелина: группа миллерита, пирротина. VI — типа сфалерита: группа сфалерита, вюртцита. VII — типа сфалерита сдвоенные: группа халькопирита. VIII — типа шпинели: группа линнеита. IX — ленточного

¹ Предлагаемая система, после обсуждения в институтах Академии наук, была отражена в новой экспозиции основного собрания Минералогического музея АН СССР в 1953 году.

типа: группа антимонита. X — слоистого типа: группа молибденита. XI — структуры слоистые с усложненными связями: группа ковеллина. XII — типа NaCl с группой S_2^{-2} : группа пирита—марказита. XIII — молекулярные структуры: группа реальгара.

С комплексными анионами. *Подклассы:* I. Структура типа сфалерита (простые и двоянные): группа германита группа вольфцита. II — типа блеклых руд. III — ленточного типа: группа сарторита и др. IV — слоистого типа: группа цилиндрита. V — с невыясненными структурами: группа айкинита, фрейслебенита.

К л а с с: селениды.

Подклассы: I. Структура типа куприта. II — антифлюоритового типа. III — типа NaCl. IV — типа сфалерита. V — ленточного типа. VI — слоистого типа.

К л а с с: теллуриды.

Подклассы: I. Структура антифлюоритового типа. II — типа NaCl. III — типа сфалерита. IV — ленточного типа. V — слоистого типа.

К л а с с: арсениды.

Арсениды простые. *Подклассы:* I. Структуры типа никкелина. II — типа NaCl с группой As_2^{-2} : группа скуттерудита.

С комплексными анионами. *Подклассы:* I. Структура типа NaCl с группой $(As-S)^{-2}$: группа кобальтина—арсенопирита.

К л а с с: антимони́ды.

Антимони́ды простые. *Подкласс:* I. Структура типа никкелина.

С комплексными анионами. *Подклассы:* I. Структура типа NaCl с группой $[Sb, As-S]^{-2}$. II — типа сфалерита (вюртцита).

Тип III. Типичные ионные решетки без комплексных анионных групп в структурах.

К л а с с: хлориды, бромиды, иодиды.

Подклассы: I. Структура типа NaCl: группа кераргирита. II — типа сфалерита: группа нантокита. III — с невыясненными структурами: группа каломели.

С ионными связями. *Подклассы:* I. Структура типа NaCl: группа галита. II — с невыясненными структурами: группа риннеита.

С кристаллизационной водой: группа карналлита.

Сложные с добавочными анионами $(OH)^{-1}$, O^{-2} и др.: группа кенсита, группа добрейта.

К л а с с: фториды.

Фториды простые. *Подклассы:* I. Структура типа NaCl: группа вилломиита. II — типа флюорита: группа флюорита. III — структура невыясненного типа: группа иттрокальцита — флюоцерита.

Сложные безводные. *Подклассы:* I. Структура невыясненного типа: группа криолита, группа ферручита.

С кристаллизационной водой и добавочными анионами. *Подклассы:* I. Структура невыясненного типа: группа томсенолита, группа геарксутита—ральстонита, группа кридита.

К л а с с: окислы.

Окислы простые. *Подклассы:* I. Структура типа куприта. II — типа NaCl. III — типа сфалерита. IV — типа RO с невыясненными структурами. V — типа шпинели с координацией (6). VI — типа рутила: группа рутила—ильменорутила, касситерита, группа пиролюзита. VII — типа флюорита: группа уранинита. VIII — молекулярные структуры: группа арсенолита — клаудетита.

Окислы водные. *Подклассы:* I. Структура слоистого типа: группа брусита, бёмита, лепидокрокита. II — ленточного типа: группа диаспора.

Окислы водные с невыясненными структурами: группа псиломелана—тунгстита-кларкеита.

Коллоидные тела: группа лимонита—варламовита.

Окислы водные с добавочными анионами. *Подклассы*: I. Структура слоистого типа: группа пироурита—заратита.

Окислы сложные. *Подклассы*: I. Структура островного типа: группа хризоберилла. II — типа шпинели: группа шпинелидов. III — типа перовскита: группа перовскита, браунита. IV — с невыясненными структурами: группа коронадита—псевдобрукита. V — коллоидного типа: группа аллофана.

Тип IV. Ионные решетки с наличием в структуре комплексного аниона.

К л а с с: ниоботанталаты и ниоботанталотитанаты.

Кристаллические. *Подклассы*: I. Структура типа рутила: группа тапиолита, группа колумбита. II — с структурами типа ABX_4 : группа стибитанталита, группа симпсонита.

Метамиктные (коллоидоподобные). *Подклассы*: I. Структура типа AB_2X_6 : группа самарскита, группа ферсмита, группа виикита, (отчасти) группа эвксенита, группа эшинита. II — типа ABX_4 : группа пирохлора, группа фергусонита.

К л а с с: силикаты.

С изолированными тетраэдрами $[SiO_4]^{-4}$.

Без добавочных анионов: группа оливина, монтичеллита, ларнита, виллемита, группа граната (алюмогранаты, ферригранаты, хромгранаты), группа циркона, группа эвлитина.

С добавочными анионами O^{2-} , OH^{-1} , F^{-1} и другие: группа сфена—ферсманита, группа дистена, группа лампрофиллита, группа гумита, группа плазолита, группа годжкинсонита.

С добавочными анионами OH^{-1} , F^{-1} : группа датолита—эвклаза, группа топаза, группа велерита, группа ринкита, группа беккелита, группа лессингита, группа силикатов урана.

Сложного состава с добавочными анионами, группа сапфирина, группа аксинита, группа сперрита.

Сложные силикаты с As, Sb, V и другие.

Со структурой «смешанного» типа: группа везувiana.

Со двоянными тетраэдрами $[Si_2O_7]^{-6}$.

Без добавочных анионов: группа тортвейтита, группа церита, группа мелилита.

С добавочными анионами OH^{-1} , F^{-1} и другие: группа эпидота, группа ильваита, группа пренита, группа каламина, группа мелинофана, группа лавсонита, группа астрофиллита.

Кольцевого строения с кольцами $[Si_3O_9]^{-6}$.

Без добавочных анионов: группа бенитоита и другие.

Кольцевого строения с кольцами $[Si_6O_{18}]^{-12}$.

Без добавочных анионов: группа берилла, группа кордиерита, группа миларита, группа диоптаза.

С добавочными анионами OH^{-1} , F^{-1} и другие: группа эвдиалита и другие.

Бороалюмосиликаты кольцевого строения с кольцами $[Si_6Al_3B_3O_{30}]^{-18}$: группа турмалина.

Цепочечного строения с радикалом $[Si_2O_6]^{-4}$.

Псевдоромбические пироксены: группа энстатита—гиперстена.

Моноклинные пироксены: группа диопсида, группа жадеита—эгирина.

Со сложными цепочками: группа рамзайта.

Ленточного строения с радикалом $[Si_4O_{11}]^{-14}$.

Ромбические амфиболы: группа автофиллита. Моноклинные амфиболы: группа актинолита, группа арфведсонита—родусита.

Алюмосиликаты: группа жедрита, группа роговой обманки, группа амфибол—асбестов, группа сениолита—пальгорскита.

Ленточного строения с радикалом $[\text{Si}_6\text{O}_{17}]^{-6}$.

С добавочными анионами: группа волластонита.

С кристаллизационной водой: группа ксонотлита, группа гиролита.

Слоистые с радикалом $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{-2}$.

С добавочными анионами $(\text{OH})^{-1}$: группа талька, группа серпентина, группа хризотиласбеста, группа ревинскита, группа каолинита—накритита, группа галлуазита—гарниерита, группа монтмориллонита—керолита, группа планшеита—хризоколлы, группа бейделлита, группа нонтронита.

Алюмосиликаты с добавочными анионами $(\text{OH})^{-1}$.

Слюды — группа флогопита, группа биотита, группа литневых слюд (тайниолит, циннвальдит, лепидолит), группа мусковита (мусковит, серицит и др.), группа хлоритоида.

С добавочными слоями $(\text{OH})^{-1}$. Группа хлорита (Fe—Mg-хлориты, Fe-хлориты и др.), группа гидрослюд.

Со слоями из тетрагональных колец: группа санборнита, группа апофиллита.

Сложного состава: группа эвдидимита, группа пиросмалита.

Каркасные с радикалом $[\text{SiO}_2]$: группа кварца, группа тридимита—кристобалита.

Коллоидные SiO_2 : группа опала.

Каркасные алюмо- и боросиликаты с радикалом $[\text{Al}_n\text{Si}_{m-n}\text{O}_{2m}]^{-n}$.

Без добавочных анионов: группа K—Na- и K—Ca-полевых шпатов. Группа Na—Ca-полевых шпатов (плагноклазов); группа лейцита, группа петалита, группа данбурита, группа нефелина.

С добавочными группами внедрения: группа скаполита, группа канкринита, группа содалита—нозеана, группа гельвина.

С добавочной группой H_2O : цеолиты — группа натролита—томсонита, группа шабазита—фюзита, группа гейландита—десмина, группа филлипсита.

К л а с с: бораты.

Бораты простые безводные. *Подклассы*: I. С изолированными $[\text{BO}_4]^{-3}$ или $[\text{BO}_3]^{-3}$: группа котоита.

С добавочными анионами: группа гамбергита, группа людвигита.

Бораты, содержащие воду. *Подклассы*: I. Простые цепочки с радикалом $[\text{BO}_2]^{-1}$: группа ашарита. II — со сложными цепочками: группа буры, группа улексита, группа гидроборацита и другие.

С добавочными анионами: I. Слои с радикалом $[\text{B}(\text{OH})_4]^{-1}$: группа типленита. II — сложный каркас: группа борацита.

К л а с с: хроматы.

Хроматы простые безводные. *Подклассы*: I. С изолированными группами $[\text{CrO}_4]^{-2}$: группа крокоита.

С добавочными анионами: группа меланохроита.

К л а с с: молибдаты.

Молибдаты простые, безводные. *Подклассы*: I. С изолированными группами $[\text{MoO}_4]^{-2}$: группа вульфенита, группа повеллита.

С кристаллизационной водой: группа ферримолибдита.

К л а с с: вольфраматы.

Вольфраматы простые безводные. *Подклассы*: I. С изолированными группами $[\text{WO}_4]^{-2}$: группа шеелита, группа вольфрамита.

Сложные с добавочными анионами и кристаллизационной водой: группа антуанита.

К л а с с: фосфаты.

Фосфаты простые безводные. *Подклассы*: I. С изолированными группами $[\text{PO}_4]$. Типа $A_n''[\text{PO}_4]_p$: группа графтонита. Типа $A_n'A_m''[\text{PO}_4]_p$: группа трифилина—сиклерита. Типа $A'''[\text{PO}_4]$: группа монацита.

Фосфаты простые с кристаллизационной водой. Типа $A_n''[\text{PO}_4]_p \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа гюролита. Типа $A_n''[\text{PO}_4]_p \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа варисцита, фосфосидерита.

С добавочными анионами $(\text{OH})^{-1}$, F^{-1} , Cl^{-1} , CO_3^{-2} и другие. Безводные типа $A_n'''[\text{PO}_4]_p \cdot x(\text{OH}, \text{F} \text{ и др.})$: группа триплита, группа тарбуттита, группа гердерита, группа либетенита, группа апатита, группа шроморфита. Типа $A_n'A_m'''[\text{PO}_4]_p \cdot x(\text{OH}, \text{F} \text{ и др.})$: группа амблигонита. Типа $A_n''A_m'''[\text{PO}_4]_p \cdot x(\text{OH} \text{ и др.})$: группа лазулита—грифита.

С кристаллизационной водой. Типа $A_n''[\text{PO}_4]_p \cdot x(\text{OH}) \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа лудламита. Типа $A_n'''[\text{PO}_4]_p \cdot x(\text{OH}) \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа вавеллита—эвансита, группа какоксена—дельвоксита. Типа $A_n''A_m'''[\text{PO}_4]_p \cdot x(\text{OH}) \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа дюфренита.

Фосфаты с добавочными анионами $(\text{OH})^{-1}$ и другие и с кристаллизационной водой. Типа $A_n''A_m'''[\text{PO}_4]_p \cdot x(\text{OH}) \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа крыжановскита, группа чильдренита, группа бирюзы, группа арроядита.

С комплексными анионами: группа диадохита, группа штаффелита, группа кэмпилита.

К л а с с: арсенаты.

Арсенаты простые с кристаллизационной водой. *Подклассы*: I. С изолированными группами $[\text{AsO}_4]$. Типа $A_n''[\text{AsO}_4]_p \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа аннабергита, группа розелита, группа цейперита. Типа $A_n'A_m''[\text{AsO}_4]_p \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа фирмаколита. Типа $A'''[\text{AsO}_4] \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа скородита.

Сложные с добавочными анионами. Типа $A_n''[\text{AsO}_4]_p \cdot x(\text{OH})$: группа оливенита, группа адамита, группа байльдонита, группа хлорофеницита—бартиита, группа миметезита. Типа $A_n''[\text{AsO}_4]_p \cdot x(\text{OH})$: группа ателестита.

С кристаллизационной водой. Типа $A_n'A_m'''[\text{AsO}_4]_p \cdot x(\text{OH}) \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа эвхронта.

С катионами A'' , A''' , $A'' + A'''$ и другие: группы леграндита, группа фармакосидерита. Типа A_n'' , $A_m'''[\text{AsO}_4]_p \cdot x(\text{OH}) \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа питтицита, группа бедантита, группа халькофиллита и другие.

К л а с с: ванадаты.

Простые безводные. Типа $A'''[\text{VO}_4]$: группа пухерита.

С кристаллизационной водой. Типа $A_n''[\text{VO}_4]_p \cdot q \text{H}_2\text{O}$: группа бракебушита, группа карнотита.

Сложные с добавочными анионами $(\text{OH})^{-1}$ и другие. Типа $A_n''[\text{VO}_4]_p \cdot x \text{OH}$: группа ванадиезита, группа эндлихита.

С кристаллизационной водой: группа хьюэттита.

К л а с с: сульфаты.

Сульфаты простые безводные. *Подклассы*: I. С изолированными группами $[\text{SO}_4]^{-2}$. Типа $A_n''[\text{SO}_4]$: группа тенардита. Типа $A''[\text{SO}_4]$: группа ангидрита, группа барита. Типа $A_n'A_m''[\text{SO}_4]_p$: группа глауберита—лангбейнита.

Сульфаты простые с кристаллизационной водой. Типа $A'_n[SO_4]_p \cdot q H_2O$: группа мирабиллита. Типа $A''[SO_4] \cdot q H_2O$: группа гипса, группа кизерита, группа эпсомита, группа мелантерита, группа халькантита. Типа $A'''[SO_4]_p \cdot q H_2O$: группа алуногена. Типа $A'_n A''_m [SO_4]_p \cdot q H_2O$: группа астраханита. Типа $A'_n A'''_m [SO_4]_p \cdot q H_2O$: группа чермгита. Типа $A''_n A'''_m [SO_4]_p \cdot q H_2O$: группа галотрихита. Сложные с добавочными анионами. Типа $A''_n [SO_4]_p \cdot x(OH, O)$: группа брошантита, группа ланаркита. Типа $A'_n A''_m [SO_4]_p \cdot x Cl$: группа караколита. Типа $A'_n A'''_m [SO_4]_p \cdot x(OH)$: группа алунита. Типа $A''_n A'''_m [SO_4]_p \cdot x(OH)$: группа плюмбоярозита.

С комплексными анионами: группа ганксита.

С кристаллизационной водой. Типа $A''_n [SO_4]_p \cdot x OH \cdot q H_2O$: группа вернадскита—натрохальцита. Типа $A''_n [SO_4]_p \cdot x(OH) \cdot q H_2O$: группа бутлерита, алюминита. Типа $A'_n A''_m [SO_4]_p \cdot x Aq$, $A''_n A'''_m [SO_4]_p \cdot x Aq$, $A'''_n [SO_4]_p \cdot x Aq$, группа сидеропатрита, группа конианита, группа цианотрихита, группа уранопилита.

К л а с с: карбонаты.

Карбонаты простые безводные. *Подклассы*: I. С изолированными группами $[CO_3]^{-2}$. Типа $A''[CO_3]$: группа кальцита, группа доломита, группа арагонита, группа альстонита.

С кристаллизационной водой. Типа $A'_n [CO_3]_p \cdot x H_2O$: группа термонатрита. Типа $A''_n [CO_3]_p \cdot x H_2O$: группа ураноталлита. Типа $A'_n A''_m [CO_3]_p \cdot x H_2O$: группа гейлюссита.

Сложные с добавочными анионами $(OH)^{-1}$, Cl^{-1} и другие. Типа $A''_n [CO_3]_p \cdot q(OH)$: группа малахита—азурита, группа аурихальцита, группа гидромагнезита, группа фосгенита. Типа $A'''_n [CO_3]_p \cdot q(OH)$: группа бастнезита, группа бисмутита. Типа $A'_n A'''_m [CO_3]_p \cdot q(OH)$: группа паризита, группа анкилита.

С комплексными анионами: группа ледгилита—шрекингерита.

К л а с с: нитраты.

Нитраты простые. Типа $A'[NO_3]$: группа селитры.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Бетехтин А. Г. Минералогия. М., Гостеолиздат, 1950.
 Костов И. Заметки о более рациональной классификации минералов. Зап. Всес. Мин. об-ва, ч. 83, № 4, 1954.
 Поваренных А. С. О дальнейшем развитии кристаллохимической классификации минералов. Изв. АН СССР, сер. геол., № 12, 1956.
 Соболев В. С. Введение в минералогию силикатов. Изд. Львовск. ун-та, 1949.
 Соболев В. С. Понятие вида в минералогии. Минералогический сборник № 1. Львов, 1947.
 Соболев В. С. Принципы и попытка построения рациональной классификации минералов. Минералогический сборник № 2, ч. I. Львов, 1948; Минералогический сборник № 3, ч. II. Львов, 1949.
 Bergman H. Constitution and classification of the natural silicates. Amer. Mineralog., 22, № 5, 1937.
 Machatschki F. Speziell Mineralogie auf Geochem. Grundlage. Wien, 1953.
 Niggli P. Lehrbuch der Mineralogie, 2 Aufl., 1926.
 Palache C. H., Frondel C., Bergman H. The system of mineralogy of J. D. Dana, 1, 7 ed. 1944; 2, 1951.
 Strunz H. Mineralogische Tabellen. Leipzig, 1949.
 Winchell A. a. Winchell G. Elements of optical Mineralogy. 4 ed. N. Y. 1951.