



# ИТОГИ НАУКИ И ТЕХНИКИ

КРИСТАЛЛОХИМИЯ

том 31



Москва 1997

**СИСТЕМАТИКА ПРИРОДНЫХ  
СИЛИКАТОВ**

# 1. Основные положения классификации минералов

## 1.1. Общие вопросы теории классификации

### 1.1.1. Определение понятий, положенных в основу предлагаемой классификации

Прежде, чем начать систематическое описание объектов настоящего исследования — "минералов класса силикатов" — целесообразно коснуться общей проблемы систематики и прежде всего дать определения тем понятиям (и терминам) из современной теории классификации, которые положены в основу нашей работы. Это особенно важно для минералогии, т.к. именно в этой науке до сих пор наблюдается более резкое отставание в подобных исследованиях и использовании их результатов.

**Определение 1.** *Понятие* — целостная совокупность суждений о каком-либо объекте, отражающая его сущность и являющаяся результатом познания объекта [48].

**Определение 2.** *Система* — совокупность каких-либо элементов (предметов, понятий), взаимосвязанных между собой и рассматриваемых как единое структурное целое [48].

**Определение 3.** *Систематика* — классификация и группировка предметов и явлений по какому-либо принципу [33].

**Определение 4** *Классификация* есть распределение по классам и подклассам множества объектов (предметов, понятий) на основе установленных у них признаков и фиксирования определенного места для каждого объекта.

Классификация получает наглядное представление в виде определенных таблиц и схем. В каждой классификации должна быть четко сформулирована не только система принятых в ней понятий, но и терминов, которые им соответствуют [33, 48].

**Определение 5.** Под *признаком* понимается характеристика объекта, позволяющая устанавливать его сходство или различие по отношению к другим рассматриваемым объектам [48].

С понятием "признак" тесно связано понятие "свойство". На первой стадии исследования оба эти термина можно рассматривать как синонимы. Свойства или признаки бывают существенные и несущественные. Классифицировать надо по существенным. Часто заранее трудно определить, какие свойства существенные, а какие несущественные. Принятие в основу классификации несущественных признаков — обычная ошибка эмпирических классификаций.

Достаточно здесь упомянуть классификацию года, где первая половина года короче второй половины, распределение месяцев, име-

ющих 30 и 31 день и даже 28-29 случайно, никакой логике эта классификация не подчиняется, хотя и продолжает использоваться до сих пор во всем мире.

По мере развития классификации можно заметить замену несущественных свойств, положенных в ее основу, на более существенные. Проследить этот процесс можно на примере биологической классификации животных. В первой такой классификации, которая была осуществлена в Китае около 2,5 тысяч лет тому назад, все признаки были несущественными. Важнейшим этапом замены несущественных признаков на более существенные при классификации животных и растений явилась работа К. Линнея (1735).

Часто один и тот же признак в зависимости от уровня классификации может быть или существенным, или несущественным.

Например, бегемоты и летучие мыши на уровне класса будут вместе (класс млекопитающих), а на более низших уровнях они весьма различные.

Иногда даже несущественный признак может сыграть значительную классификационную роль. Если такой признак оказывается признанным во всем мире, то бывает очень трудно заменить его более существенным (классификация года).

Каким образом со временем несущественные признаки классификации заменялись все более существенными, можно судить по биологическим классификациям.

**Определение 6.** Под понятием *множество* будем понимать совокупность каких-либо объектов (предметов, понятий), объединенных общим признаком и мыслимых или представляемых как нечто единое [48].

Поскольку в приведенных выше примерах классификация применяется к совокупности всех объектов, имеющих в природе, постольку термин "царство" (царство животных или царство минералов) следует рассматривать как синоним термина "множество".

Вернемся к анализу понятий "система" и "множество". Когда мы говорим о множестве объектов (элементов множества), мы исключаем связи, которые существуют между этими объектами (элементами) и между ними и внешней средой (т.е. с объектами других множеств). В системе эти взаимодействия учитываются. Система, состоящая из одного множества, есть частный случай. Обычно же система состоит из нескольких (часто многих) множеств.

В результате взаимодействия элементов в системе, т.е. в одном или в нескольких множествах, в ней появляются свойства, которых не было у элементов исходных множеств.

**Определение 7.** *Эмерджентные свойства* — свойства целого. Они

не выводятся напрямую из свойств элементов множества [48]. Простейшими примерами здесь могут быть любые химические соединения и, в частности, минералы. Так, например, мы можем изучать различные свойства смеси водорода с кислородом, т.е. множества, состоящего из двух химических элементов (газов) состава  $H_2$  и  $O_2$ . При этом, если элементы (газы) не взаимосвязаны друг с другом, то свойства этого множества (смеси) будут одни, а если эти элементы взаимодействуют между собой и образуют воду, то появляющиеся при этом свойства будут совсем другими. Исходное множество превратилось в систему. Появившиеся свойства этой системы, например, способность ее замерзать (т.е. превращаться в кристаллы) при  $0^\circ C$  и кипеть при  $100^\circ C$  (превращаясь в газ), не выводятся просто из свойств водорода и кислорода.

Каждый природный объект одновременно может рассматриваться и как элемент, и как система. Например, если ранее химия рассматривала атом как единое структурное целое, практически не интересуясь его частями (за исключением валентных электронов), то для атомной физики атом действительно является системой, для исследования которой тщательно изучаются его составные части и их взаимоотношения. Каждый человек во "множестве" людей является его элементом. А с другой стороны, он является очень сложной био-физико-химической системой для физиологии и медицины. Горная порода для петрографии — индивид, для минералогии — система и т.д.

При системном подходе необходимо совмещать изучение элементов множеств и самих множеств с изучением связей и отношений, существующих в системе. Эта сторона общей теории систем (ОТС) изучается специальной наукой — кибернетикой. Часто, однако, под этим термином понимается только прикладная ее сторона, связанная, главным образом, с изучением закономерностей процессов управления.

Теория множеств, со своей стороны, возродила на новом уровне идею о классификации объектов и связанную с ней терминологию. Этим объясняется поток тезаурусов, появившийся за последние годы в целом ряде областей науки.

**Определение 8.** *Тезаурус*, в общем смысле, — совокупность знаний, накопленных человечеством в данной области. В более узком смысле это словарь, являющийся лексическим инструментом информационно-поисковых систем. Он состоит из контролируемого, но изменяемого словаря терминов, между которыми указаны смысловые связи [48]. Такой словарь, исчерпывающим образом покрывающий некоторую специфическую область знаний, представляет собой пе-

речень дескрипторов и недескрипторов (вспомогательных терминов), упорядоченный по систематическому и алфавитному принципам и содержащий указания на имеющиеся между ними смысловые отношения как иерархического (родовидового), так и неиерархического типа.

Любой тезаурус может быть создан только в том случае, если в его основу положены строгие определения тех понятий, которые составляют его сущность [19].

Первая попытка разработать тезаурус по минералам была сделана нами [7] при разработке международной информационной системы по химии. Нам казалось целесообразным ввести в химическую систему хотя бы основные минералы. В наш пятитомный тезаурус были включены 2760 минеральных видов.

Следует различать два основных типа классификаций: естественные классификации (ЕК) и искусственные (ИК).

**Определение 9.** ЕК это те классификации, которые одновременно являются законами природы.

Примером последних могут служить: Периодическая система химических элементов и Симметрия кристаллов.

Определение ЕК было мною предложено в докладе на Первой всесоюзной школе-семинаре по теории классификации (Борок, 1979). Попытка целиком издать материалы этого семинара не увенчалась успехом, а поиски другого печатного органа, где можно было бы опубликовать доклад, заняли несколько лет. В результате он был напечатан только в 1985 г. [10]. Однако некоторые материалы этого семинара были опубликованы раньше, например, статья В.Ю.Забродина "О критериях естественности классификаций" [30] (1981), где он пишет, что критерий ЕК был "обнаружен и имел единственную формулировку, принадлежащую Г.Б.Бокию. Г.Б.Бокий утверждал, что естественная классификация подобна закону природы: бессмысленно ставить вопрос, для чего она". ИК — остальные классификации, которые широко используются для целей систематики объектов, в частности, продуктов деятельности человеческого общества: например, товаров, объектов промышленности, продуктов сельскохозяйственного производства и т.п. Для этого типа классификаций всегда характерна цель, для которой создается классификация. Одно и то же множество объектов может классифицироваться по-разному в зависимости от цели. Например, обувь может прежде всего делиться на мужскую, женскую и детскую, что нужно, в первую очередь, для потребителя, а может делиться по материалу: кожаная, резиновая, матерчатая, что нужно прежде всего производителю.

Для ЕК цель не важна. Одна и та же классификация использу-

ется в науке (и прежде всего в фундаментальной науке) для весьма разнообразных целей, в том числе, конечно, и для прикладных.

Для ИК важен "коэффициент информативности", т.е. характеристика, которая позволяет делить объект приблизительно на равные части (пример с обувью). Нельзя поделить всю обувь на мужскую, женскую, детскую и, например, сапоги Петра Великого.

В ЕК коэффициент информативности никакой роли не играет. И один объект может быть противопоставлен массе других. Он один может в классификации занимать такой же таксон, что и большая группа других классифицируемых объектов.

**Определение 10.** Под понятием *таксон* подразумевается уровень (раздел) классификации [59]. Каждый таксон должен быть четко определен. Особенно строго должен быть определен наинизший таксон, символизирующий элементы, объекты множеств, которые в большинстве классификаций именуется "видами". Так же четко должны использоваться термины, которыми, как правило, заменяются данные определения.

ИК очень много, и развитая промышленность заставляет человечество создавать все новые и новые классификации.

ЕК мало, но их роль в развитии науки огромна. Прежде чем был открыт тот или иной классификационный закон природы, ему предшествовали отдельные работы по классификации соответствующих объектов. См., например, классификации химических элементов, предшествующие открытию Периодической системы химических элементов (ПСХЭ) или классификации кристаллов, прежде чем было сделано открытие (математический вывод) 32 видов симметрии кристаллов.

Различные классификации могут приближаться к тому или другому из этих двух пределов. Хорошим примером промежуточных классификаций могут служить биологические классификации. Для них ведь тоже характерно, что коэффициент информативности роли не играет. Например, два вида в классе млекопитающих (утконосы и ехидны) противопоставляются всем остальным видам (десяткам тысяч).

Промежуточный тип классификации характерен для многих случаев природных объектов, в частности, к этому типу мы пытаемся отнести и разрабатываемую здесь классификацию минеральных видов. И так же, как в биологических классификациях, здесь есть разделы, имеющие по одному виду, а есть аналогичные им разделы, очень богатые видами.

Биологические классификации осложняются еще тем, что для них в той или иной мере не может не учитываться явление эволю-

ции. Этот момент отсутствует в классификации минералов, поэтому приближение ее полностью к ЕК может осуществиться быстрее.

Много лет ведется дискуссия о критериях для определения ЕК и ИК. Читатель может узнать об этом многие подробности в цитируемой выше статье В.Ю.Забродина [30].

**Определение 11. Критерий** — средство для суждения, признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо; мерило суждения, оценки [20].

**Определение 12. Явление** — философская категория, отражающая внешние свойства и отношения предмета; форма обнаружения (выражения) сущности предмета [55].

Создавая какую-либо конкретную классификацию, необходимо строго сформулировать соответствующую парадигму.

**Определение 13. Парадигма:** теория (или модель) постановки проблемы, принятая в качестве образца для решения теоретических и практических задач [55].

Поскольку в определении ЕК (максимально близкую к которой мы пытаемся создать для классификации минералов) входит понятие Закона природы, поскольку необходимо определить и это понятие.

**Определение 14. Закон.** Объективно существующая, необходимая, устойчивая и существенная связь предметов, их свойств или явлений реального мира [48].

Законы существуют объективно, т.е. независимо от сознания людей: они присущи самой природе.

Обычно в справочниках при определении понятия "закон" в качестве примера приводится закон тяготения Ньютона. Ни в одном из справочников мне не удалось найти определения "закономерности", а я предполагаю в следующих главах говорить именно о закономерности. Можно предположить, что если обнаружена связь между предметами и явлениями, которая относится к какой-либо конкретной, частной области знаний, то говорят не о законе, а о закономерности, хотя и нет принципиальной разницы между этими двумя понятиями.

### 1.1.2. Роль классификации в современной науке

Классификация — один из важнейших факторов ускорения научно-технического прогресса и один из фундаментальных процессов в науке. Факты и явления должны быть упорядочены, прежде чем мы сможем их понять и разработать общие принципы, объясняющие их появление и видимый порядок.

Без хороших междисциплинарных классификаций все множество



идей, концепций и предметов кажется необозримым. В такой ситуации нельзя успешно прогнозировать развитие науки и решать важнейшие народнохозяйственные задачи. Поэтому задача создания общего учения о классификациях является важнейшей и актуальной проблемой научно-технической революции.

Классификация достигла высокого уровня развития. Она превратилась в научную дисциплину, отвечающую всем критериям, определяющим самостоятельную предметную область. Разрабатывается теория построения классификаций, начинают создаваться соответствующие кафедры в высших учебных заведениях. В 1984 г. создана международная федерация по классификации. В этом же году начал издаваться новый международный журнал "Journal of Classification". Журнал "International Classification" начал выходить с 1973 г. С 1996 г. он называется "Knowledge organisation" и ассоциируется у нас в сознании с развитием десятичной библиотечной классификации, а упомянутый выше, по существу, является журналом, публикующим статьи по соответствующим разделам теории множеств. Теория множеств — широкая область современной прикладной математики. Она является фундаментом теории функций действительного переменного, общей топологии, общей теории классификации, общей алгебры, функционального анализа и др.

Первейшей задачей теории классификации является выделение из теории множеств разделов, относящихся к классификации, и применение этих разделов к разработке конкретных классификаций.

Классификация является одним из важных факторов ускорения научно-технического прогресса. Назначением любой классификации является свертывание информации какой-либо области знаний, возможность компактного ее хранения и создания поисковой системы.

Для хранения и поиска сведений о каких-либо крупных массивах информации в настоящее время создаются банки данных, в которых широко используются машинные методы. Эти методы не могут быть применены без хорошо разработанной классификации.

Классификация, помимо сохранения времени ученого на поиск необходимой ему информации, конкретизирует полученные ранее всем мировым сообществом знания, облегчает и интенсифицирует работу ученого и облегчает путь к обнаружению закономерностей и законов природы. В связи с этим можно вспомнить открытие Менделеевым периодического закона химических элементов. В периодической системе химических элементов первый период имеет 2 элемента, а пятый — 24. Даже в биологических классификациях, которые только приближаются к естественным, например в классе млекопитающих два вида (утконосы и ехидны) принадлежат к одному

подклассу, а приблизительно 40000 других видов ко второму.

Неравномерное распределение объектов характерно для естественных классификаций. Ведь для них "коэффициент информативности" никакой роли не играет. Без хороших междисциплинарных классификаций все множество объектов кажется необозримым. Если число объектов в достаточно высоком таксоне мало (скажем, от одного до пяти), то никакой дальнейшей классификации для их изучения не требуется. Почти во всех индексах нижестоящих таксонов будут фигурировать только единицы. Напротив, если объектов много, то без их классификации обойтись нельзя.

Многообразие объектов познания и практической деятельности теперь уже так велико, а сами объекты так сложны, что уже недостаточно обычного человеческого интуитивного умения классифицировать, чтобы удовлетворительно организовать это многообразие. Без хороших классификаций нет коммуникативных языков. Нет эффективных информационно-поисковых систем. Нельзя хорошо аналогизировать, диагностировать, предсказывать неизвестные объекты и свойства этих объектов. Без хороших классификаций нельзя надежно прогнозировать и реалистично планировать развитие данной научной области.

Необходимо превратить медленный (растянувшийся на столетия) стихийный процесс становления учения о классификации в более организованный: создать международные коллективы, которые могли бы интенсифицировать развитие учения о классификации.

Классификационные системы позволяют строить предсказательные модели. Эти модели дают возможность логически, без эксперимента предсказать возможности получения новых объектов и процессов, выявить "белые пятна" в функциональных системах. Предсказательные модели предназначены для перечисления таксонов, т.е. выполняют те же функции, которые отводятся для определителей в классификации биологических объектов.

В дескрипторных автоматизированных информационных системах (АИС), где имеется множество материальных объектов и документов информации, необходима автоматизация методов классификации для создания банков данных и широкого использования экспертных систем (вплоть до создания искусственного интеллекта).

Классификация связана со многими науками, в частности, и с информатикой — наукой о преобразовании информации.

Отсутствие общей классификации в минералогии является непреодолимым препятствием в создании эффективных автоматизированных информационных систем, усугубляет дифференциацию знаний, затрудняет рациональное использование объектов, предопределяет

неоправданное дублирование исследований и разработок. И в конечном счете препятствует ускорению научно-технического прогресса.

В настоящее время на неоправданное дублирование в США расходуется от 10 до 30% всех средств, ассигнуемых на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы; цифры эти характерны для любой экономически развитой страны.

Система понятий и терминов учения о классификации пока совершенно неудовлетворительна. Имеющиеся в этом учении идеи, как правило, изложены на языках разных отраслей знаний. Часто они непонятны лицам других специальностей и поэтому не способствуют взаимному обогащению. Отсутствие общего языка сильно затрудняет развитие теории классификации, затрудняет создание рациональной номенклатуры и приводит к неудовлетворительному состоянию информационного обслуживания.

На примере периодической системы химических элементов можно понять зависимость классификации от содержательной теории, однако следует признать первичность классификации. С помощью теории удастся объяснить и улучшить классификацию, но построить ее обычно не удастся. Чем лучше классификация, тем скорее появляются плодотворные гипотезы, эффективные теории. Классификация находится в авангарде науки.

Роль классификации в получении новых научных знаний схематически проиллюстрирована на рис. 1 [66].

Отдельные исследуемые объекты или факты собирают вместе и при значительном их скоплении составляют банк данных. Затем можно продолжать исследовать их сущность или начинать их группировку, т.е. находить какие-то общие свойства; в результате создается их искусственная классификация. На ее базе продолжается групповое исследование этих объектов (или фактов), в результате которого выдвигаются различные гипотезы и теории, требующие подтверждения или опровержения. На этой стадии могут создаваться математические теории (как это было, например, при создании теории 32 видов симметрии кристаллов). Если их проверка дает положительный результат, научный цикл на этом завершается, и сразу же начинается новый цикл (в данном случае — создание теории 230 пространственных групп симметрии). Классификация превращается в открытие нового закона природы.

В другом случае классификация может оставаться эмпирической. Так было, например, с периодическим законом химических элементов. Всякий раз открытие новых элементов (в данном случае действительно химических элементов) заставляло делать проверку системы. Это было при обнаружении новых элементов эка-бора (Sc),

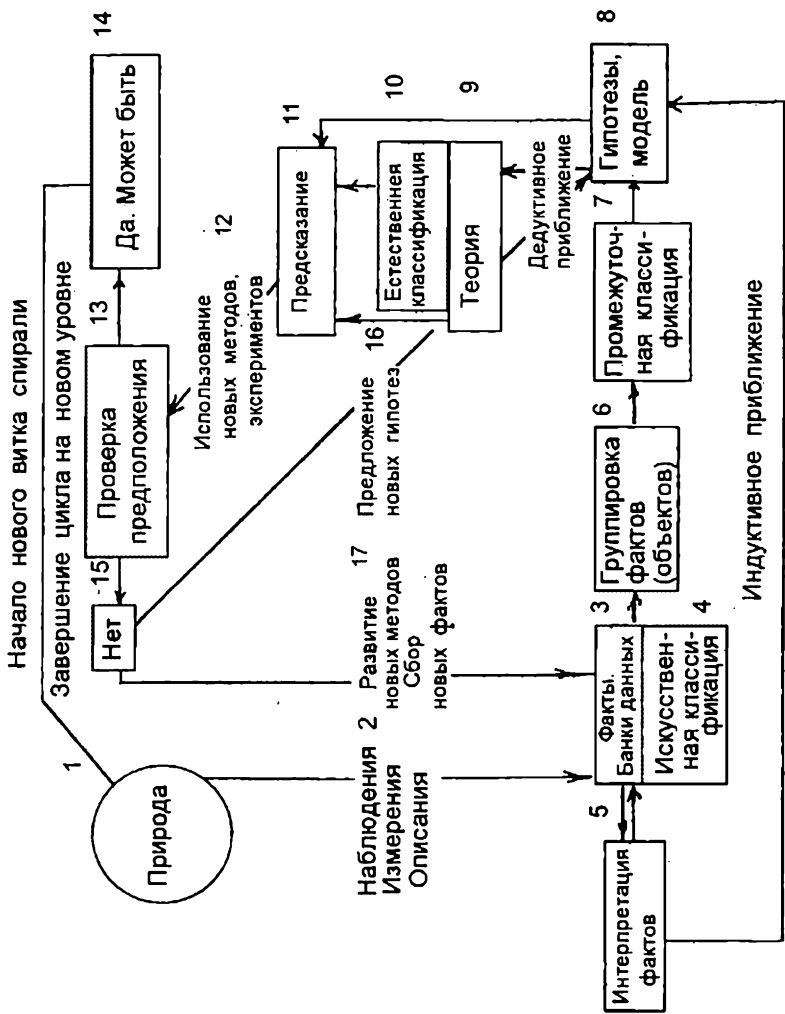


Рис. 1. Роль классификации в получении и проверке новых научных знаний

эка-кремния (Ge) и др. И каждый раз ответы были положительными. Общая теория периодического закона была создана значительно позже (двадцатые годы), чем ее эмпирическое открытие (1869). Как всегда, когда закончился цикл (создание Периодической системы), сразу же начался новый этап познания, который в первую очередь ознаменовался разработкой теории электронного строения атомов. Ведь именно получение новых научных знаний является основным назначением (целью) фундаментальных наук.

Классификация — один из фундаментальных процессов в науке. Факты и явления должны быть упорядочены, прежде чем мы сможем их понять и разработать общие принципы, объясняющие их появление и видимый порядок.

Для построения классификаций широко применяются математические методы, в частности, кластер-анализ и методы группировки. В кластер-анализе целью является выделение групп однородных объектов, причем различные группы резко между собой различаются.

Прикладная математика для решения задач прогнозирования разработала методы распознавания образов и многомерной классификации. В принципе ясно, что при использовании полной системы признаков между "пространством признаков" и "пространством объектов" может быть полное соответствие.

Совершенно ясно, что задача распознавания объектов и задачи классификации преследуют одну и ту же цель, и решить их без применения современных средств прикладной математики и вычислительной техники невозможно.

**Эффективность классификации.** Классификация — один из фундаментальных процессов в науке. Факты и явления должны быть упорядочены, прежде чем можно их понять и использовать. Экономические эффекты получаются за счет сокращения трудоскости поиска необходимой информации, прекращения неоправданного дублирования, сокращения расходов на исследования применимости материалов. Классификация позволяет разрабатывать более обоснованные перспективные планы исследований, создает базу для принятия правильных решений.

Классификация выполняет многие функции, без которых организованная деятельность не может надежно планироваться и осуществляться. Отсутствие эффективных классификаций экономически очень невыгодно. К сожалению мы часто не знаем, во что обходится обществу неумение хорошо классифицировать.

Необходимое количество таксонов в том или ином подмножестве может быть весьма различным. Если, например, в подклассе или в отряде один-два объекта, то дальнейшая их классификация просто не нужна.

Если же объектов много, то и таксонов для их классификации нужно много, а для их выделения требуются все новые и новые понятия и принципы. Среди таковых упомянем здесь такие как *последовательность, преобладание, предпочтение*.

Часто в процессе создания классификации методически целесообразно бывает построение и исследование определенной последовательности. Например, построение объектов или их характеристик в определенный ряд. Здесь уместно еще раз напомнить, что в процессе создания Периодической системы Менделеев предварительно воспользовался расположением в ряд всех известных к тому времени химических элементов по их атомному весу.

Установление последовательности часто является этапом разработки классификации, но в частных случаях, если дальнейшая классификация не нужна, рядом последовательности можно ограничить перечисление объектов в данном тексте. Такие ряды часто определяют постепенное преобладание каких-либо признаков или их предпочтение. Когда объект характеризуется двумя (или большим количеством) различных свойств (признаков), то определенное место в этом ряду он занимает соответственно предпочитаемому свойству. А в самом ряду объект предпочитается другим объектам, если он стоит ближе к началу ряда. В некоторых случаях может быть и наоборот, т.е. для классификации предпочитается признак, стоящий близко к концу ряда.

Все вопросы последовательности, преобладания и предпочтения для каждого ряда должны быть заранее строго определены.

Более подробно эти вопросы будут освещены в последующих разделах при рассмотрении конкретных задач классификации силикатов.

## **1.2. История классификации минералов и ее современное состояние.**

### **1.2.1. Первые сведения о классификации минералов.**

Классификацией минералов человечество начало интересоваться с глубокой древности. Вначале описывались только драгоценные камни, затем стали описываться и классифицироваться те минералы, которые обычно встречаются в природе. Тогда же началась классификация силикатов.

Из первых научных попыток классифицировать минералы следует, конечно, упомянуть работу К.Линнея (1735) "Система природы". В ней фигурирует в качестве отдельной части классификация минералов.

В этой работе, как и в последовавших за нею, минералы классифицировались по внешним признакам. Химический состав минералов в этих классификациях не фигурировал. К этой стадии следует отнести 1-ое издание минералогии Дж.Д.Дана (1837), которая затем, выдержав десятки изданий, дошла до наших дней.

Следующий этап начался с работы А.Ф.Кронштедта "Опыт классификации царства минералов" (1758). В ней автор впервые выделил химический состав как главный признак для определения разных минералов. Однако использовать его для классификации последователей почти не удалось, т.к. методики химических анализов в XVIII веке находились еще на крайне низком уровне.

Не следует, конечно, думать, что с момента опубликования работы, которую мы считаем основной для начала нового этапа, окончился предыдущий (первый) этап. Параллельно с развитием "химического этапа" продолжал развиваться предыдущий. Упомянем здесь работу А.Г.Вернера "О внешних признаках ископаемых тел" (1774), в которой приводится классификация 317 минералов по их внешнему сходству и без учета их химического состава. Некоторые ученые еще в начале XIX века предлагали игнорировать химический состав минералов и основывали свои классификации только на внешних признаках минералов, таких как цвет, твердость, плотность, форма кристаллов и т.д. Несомненно следует упомянуть работы Р.Ж.Аюи (1801), сформулировавшего идею о том, что форма кристаллов является важнейшей характеристикой химических соединений и, в частности, минералов. Он выделил 4 класса минералов: 1. Кислотные вещества (карбонаты, сульфаты, фосфаты) с дальнейшим подразделением по металлам. 2. Землистые вещества (кварц, силикаты, некоторые окислы). 3. Горючие неметаллические вещества (сера, алмаз, антрацит и др.). 4. Металлические вещества (медь, золото и др. самородные металлы; сульфиды, окислы и др.).

После работы Кронштедта идея химического состава минералов, как основа их классификации, интенсивно развивается. Упомянем тут работы Клапрота "К химическому познанию минералов" (1795-1810). В.М.Севергина (1798, 1808) "Опыт минералогического землеописания", И.Ф.К.Хесселя (1826) "Исследование химического состава минералов группы полевых шпатов". Параллельно с химическим направлением развивались и кристаллографические исследования минералов: кроме упомянутых выше работ Аюи, который, в частности, ввел в науку понятие сингоний, следует упомянуть введение в науку понятия кристаллографических осей — Х.С.Вейсс (1809). Ф.Э.Нейман (1823) уточнил понятие сингонии, ввел в обращение

моноклинную и триклинную сингонию, а И.Ф.К.Хессель в 1830 г. впервые вывел 32 вида симметрии кристаллов. Правда, эта работа до вывода А.В.Гадолина (1867) оставалась забытой и не оказала влияния на дальнейшее углубление идеи симметрии кристаллов. Все эти исследования проводились исключительно на минералах. К этому же направлению следует отнести и открытие явлений изоморфизма и полиморфизма (Э.Митчерлих, 1818 и 1822).

Важнейшим этапом, в известной мере завершающим формирование направления химической характеристики минералов, являются публикации Я.Берцелиуса (1814—1824). К этому времени он собрал уже большую коллекцию минералов, которую попытался привести в порядок. Для этого ему пришлось пересмотреть принцип распределения выделенных А.Г.Вернером 317 минералов. Сразу обнаружилось серьезные ошибки. По Вернеру рубин, например, был помещен в отряд кремния, а в отряд глинозема попали не отдельные минералы, а горные породы: трапп, глина, сланцы. Эти и другие ошибки Вернера были следствием незнания химического состава минералов.

В 1814 г. Я.Берцелиус издает книгу "Опыт обоснования чисто научной системы минералогии посредством применения теории и учения о химических пропорциях", в которой он выдвигает фундаментальную идею о том, что минералы являются природными химическими соединениями. В обзоре (*Jahres-Bereicht*, 1822. 1, S. 65-66) он пишет: "Нужен был только взгляд на минералогию, чтобы найти там те же законы взаимных отношений элементов и чтобы увидеть в большом числе землеподобных минералов, что кремнезем представляет кислоту, а остальные земли — основания, и что кислота и основания подчиняются здесь тем же соединительным законам, как и в опытах в наших лабораториях". Так возникла в минералогии химическая система, которая базируется на той же основе, что химия и которая не может произвольно ввести в заблуждение. С этого момента минералогия получила новый интерес: если раньше она была описью неточно определенных продуктов неорганической природы, то теперь она поднялась до уровня настоящей науки. Минералогия, хотя она и рассматривается как особая наука, все же представляет учение о неорганических соединениях, образующих наш земной шар, и является лишь частью химии, на представлениях которой она базируется полностью.

К достижениям Я.Берцелиуса следует также добавить разработки им новых аналитических методов, которые позволили надежно проверять химический состав минералов.

В развитие своей идеи он, в частности, использовал открытие явления изоморфизма (Э.Митчерлих, 1818). Производя химические



анализы минералов, он предложил различать те химические элементы, которые составляют основу состава, от тех, которые являются изоморфными примесями. Это обстоятельство, так же как и другие достижения Берцелиуса в области аналитической химии, убедили минералогов считать химический состав минералов основой их классификации. Это можно проследить на примере изданий минералогии Дана. В первом ее издании (1837) нет ни одной химической формулы минералов, но во втором (1844) уже формулы минералов указаны. Постепенно, но не сразу, эта идея стала общепринятой.

В 1824 г. Я.Берцелиус закончил и опубликовал новую систему классификации минералов, в которой они распределялись по их электроотрицательным элементам. Эта книга была переведена на русский язык в 1829 г. (Берцелиус Я., Горный журнал, 1829, кн. 1, с. 69):

Эта фундаментальная идея Берцелиуса, хотя и была оценена учеными — его современниками, но тогда до конца не могла быть осуществлена; автор слишком опередил свое время. Она не могла быть целиком осуществлена хотя бы из-за того, что еще не был открыт периодический закон химических элементов (Д.И.Менделеев, 1869). Не была даже высказана идея о "триадах" химических элементов (И.В.Доберейнер, 1829), и тем более об их "октавах" (Д.Ньюландс, 1864).

Идея Я.Берцелиуса о классификации химических соединений, и в частности минералов, по электроотрицательным элементам интенсивно разрабатывалась многими авторами и продолжает разрабатываться до сих пор. Так, большинство авторов выделяет в качестве некоторых подразделений классификации: оксиды, сульфаты, силикаты, карбонаты, фториды; хлориды и т.п. Называют эти подразделения по-разному, но в частности, и классами, но до конца эту идею Берцелиуса никто не доводит. Причин здесь несколько. Одна из них была известна уже самому Берцелиусу, а именно, что некоторые химические элементы в зависимости от партнера по соединению могут играть в соединениях как положительную, так и отрицательную роль (например олово в соединениях  $\text{SnO}_2$  и  $\text{Mg}_2\text{Sn}$ ). Поэтому становилось неясно, как их учитывать. Мы, в частности, считаем, что наши исследования продолжают разработку этой идеи Берцелиуса о роли электроотрицательности химических элементов. В них, как нам кажется, намечены пути к ее окончательному решению.

Как всегда бывает в науке, окончание разработки одной идеи влечет за собой сразу же появление новой, продолжающей это научное направление. С работами Берцелиуса закончился второй этап систематики минералов. Идея использования для этой цели их хи-

мического состава стала общепринятой. Химический состав минералов оказался наиболее существенным свойством, которое должно быть положено в основу их классификации. Однако идея об использовании для этой цели неметаллов оставалась неустраиваемой. Между тем, после открытия Периодической системы сразу же возник вопрос о том, как ее использовать, чтобы получить однозначное решение. Начался третий этап этого научного направления. Его разработке посвящена настоящая работа.

### 1.2.2. Успехи кристаллографии в развитии минералогии.

Поскольку подавляющее количество (более 98%) минералов являются кристаллическими соединениями, постольку успехи кристаллографии должным образом отразились на развитии минералогии.

Успехи кристаллографии, относящиеся к интересующему нас вопросу, мы уже частично упомянули — вывод 32-х видов симметрии. В 1890 г. был опубликован вывод Е.С.Федорова 230-ти пространственных групп симметрии, а после открытия М.Лауэ (1912 г.) последовавшие за ним работы В.Л.Брэгга по экспериментальному определению структур кристаллов породили новую науку, "кристаллохимию", и со временем создали прочную основу для дальнейшего развития идей классификации минералов. Школой Брэгга был развит рентгеноструктурный анализ, позволивший, в частности, начать изучение атомных структур минералов-силикатов. Первая обобщающая сводка по структурам минералов-силикатов также принадлежит В.Л.Брэггу [68].

Говоря о роли этих работ применительно к классификации минералов, хочется отметить очень четкую формулировку Е.С.Федорова, высказанную им в 1913 г. сразу же после первых публикаций В.Л.Брэггом об определении атомных структур кристаллов. Он писал: "Только совсем недавно принцип кристаллохимического анализа стал способен привести к классификации, в которой каждый минерал имеет строго определенное место. Такая классификация не может быть названа искусственной, так как в ее основе лежит кристаллическая структура минерала, т.е. то, что по-существу характеризует природу каждого".

В 1928 г. Ф.Махачки [81] в области кристаллохимии силикатов сделал первое фундаментальное обобщение. Он поделил все структуры силикатов на 4 части по типу кремне-кислородных анионов: нольмерные, одномерные, двумерные и трехмерные.

Итак, к нашему времени определились два существенных свойства минералов: химический состав и атомная структура, которые следует использовать для создания научной классификации минера-

лов. Однако этот вопрос не решается автоматически, что становится очевидным, если рассмотреть современное состояние классификации минералов. Успехи рентгеноструктурного анализа в определении атомных структур минералов повлекли за собой развитие работ нового направления, главным образом связанных с атомной структурой. Я имею ввиду широкие разработки теории химической связи, развитие новых разделов математики — теории множеств, комбинаторный анализ, развитие отдельных разделов классификации минералов, например, содержащих металлы в октаэдрической координации кислородом (П.Мур [90]); обзор Дж.Лима-де-Фариа и др. [77].

Структурная классификация минералов должна входить как часть в более общую классификацию неорганических соединений. См. например систему, развитую Дж.Лима-де-Фариа и Л.О.Фигуэйредо [79]. Попутно укажу и систему обозначения типов атомных структур, начало которым было положено В.Л.Брэггом [68], Ф.Махачки [82] и Ф.Либау [37, 76] и особенно подробно разработано Дж.Лима-де-Фариа [78].

Очень актуален вопрос об определении всех возможных расположений атомов в элементарной ячейке и, возможно, причины, почему природа выбирает один из многих возможных вариантов (задача по комбинаторике). Основным средством решения этой проблемы служит теорема перечисления (подсчета) Поля (Polya), 1937.

Более подробное обсуждение части упомянутых выше проблем читатель может найти в книге А.С.Марфунина [84], и в частности — в главе о систематике кристаллических структур и кристаллохимической классификации минералов, написанной Г.Б.Бокием, Дж.Лима-де-Фариа и П.Муром [67, 78].

Новые идеи о систематике минералов высказаны Е.Партэ [96]. Нельзя не упомянуть здесь и многочисленных работ Н.В.Белова [2, 3] и его учеников (Е.Н.Белова, Е.А.Победимская [4]) о специфических особенностях структур природных минералов, в частности — силикатов.

Кроме того, перечислю только фамилии тех авторов (не претендуя на то, что это список полный), работы которых в той или иной мере пришлось использовать при разработке классификации силикатов, которой посвящена настоящая работа. Среди них следует упомянуть работы С.Т.Нарай-Сабо [93], Т.Золтаи [104], Г.Штрунца [102, 103], О.Гасселя [24], Н.В.Белова [2], В.С.Соболева [50], А.С.Поваренных [41], Ч.В.Стиллвелла [101], И.Костова [35], В.В.Бакакина [1], Р.К.Эванса [61], А.А.Годовикова [27], Дж.Мандарино [83], С.Мерлино [88], Е.Н.Николя [94, 95], С.Н.Бреховских и др. [22], В.С.Урусова [53, 54], Н.Л.Смирновой [51], Ю.А.Малиновского и Р.В.Галиулина [38],

Г.Б.Бокия и Н.Л.Смирновой [18] и многих других. Разбирать подробно вклад каждого из этих авторов нет возможности. Мне только хочется отметить здесь монографию Ф.Либау (1985) [76], в которой переработан колоссальный материал и сделано много важных обобщений, в результате которых, как мне кажется, закончился этап, начатый работами В.Л.Брэгга.

Упомяну еще книгу Д.Ю.Пущаровского "Структурная минералогия силикатов и их синтетических аналогов" [42], давшую возможность русскому читателю подробно ознакомиться с названной проблемой.

В 1955 г. мною сделана первая попытка в докладе на XX Международном геологическом конгрессе (Мексика) использовать для классификации минералов Периодическую систему химических элементов.

Многие не упомянутые здесь работы по истории минералогии можно найти в статье Г.Штрунца, опубликованной в материалах 27-го Международного геологического конгресса (1984) [60], в разделе "Минералогия", с. 33—52.

К сожалению, большинство этих идей, связанных с отдельными вопросами классификации структур минералов, высказанных в упомянутых выше работах, не нашли отражения в современных справочниках и монографиях по минералогии и мало повлияли на развитие общей теории классификации минералов.

### 1.2.3. Современное состояние классификации минералов.

Ясное представление о современном состоянии классификации минералов можно получить, если сопоставить соответствующие схемы из разных монографий и учебников по минералогии, широко цитируемых в настоящее время в литературе. В табл. 1 представлены первые два таксона деления "Царства минералов" у разных авторов. Интересно отметить, что нет совпадающих схем хотя бы у двух авторов. Поражает также и принятая терминология: одинаковые разделы называются тоже по-разному. Даже в том случае, когда у двух авторов случайно совпадают числа таксонов, то их объем и число объектов в них оказывается разным. Если же авторы публикуют в течение нескольких лет две монографии, в которых фигурирует классификация минералов, то числа подразделений в них и их названия всегда разные. Таких случаев в табл. 1 три (Годовиков, Семенов, Костов). И ни в одном из них нет объяснений, почему изменено число таксонов и их наименования. А написать книгу, не деля ее на части, главы, параграфы — невозможно. Каждая книга обязательно включает в себя какую-то классификацию.

Сопоставлять классификацию минералов с биологическими классификациями нам представляется целесообразным по той причине, что объекты этих классификаций существуют в природе независимо от человеческой деятельности. Большинство же других классификаций связано с человеческой деятельностью: классификации книг в библиотеках, различных товаров, машин, их деталей, продуктов сельского хозяйства или каких-либо областей промышленности.

Разве можно себе представить, что в нескольких вузах в одной стране, где преподается биология, класс млекопитающих делится, например, в одном на 5 отрядов, в другом — на 8 подклассов, а в третьем — на 13 разделов без названия. Однако такое положение существует в минералогии. В нескольких минералогических музеях в одном городе самые начальные ступени классификации минералов совершенно различны по существу и называются по-разному.

Удивляет полнейший хаос в этом вопросе. Непонятно, почему минералоги всего мира не замечают его и не умеют с ним бороться.

Единственным положительным выводом из рассмотрения табл. 1, который можно сделать, заключается в том, что все авторы признают, что деление царства минералов должно основываться на их химическом составе. Другими словами, что первая идея Я.Берцелиуса, разработанная им в 1824 году, признана теперь всеми. Вторая его идея, что классифицировать минералы надо по электроотрицательным химическим элементам (анионам), хотя и признается большинством авторов, но использована уже далеко не строго.

Таблица 1. Первые два деления (таксоны) в классификации минералов по данным разных авторов

Автор, ф.и.о.(год)	первое деление	второе деление	лит. ссылка
А.А.Годовиков (1979)	2 подцарства	6 типов	[21]
А.С.Поваренных (1966)	4 типа	23 класса	[41]
А.Г.Булах и др. (1995)	4 типа	20 классов	[70]
А.А.Годовиков (1975)	5 типов	16 классов	[25]
А.Г.Бетехтин (1950)	6 разделов	18 классов	[5]
Е.С.Дана (1937)	8 без названия	24 без названия	[28]
Г.Штрунц (1978)	9 классов	39 отрядов	[103]
Е.И.Семенов (1991)	9 классов	7 подклассов	[47]
А.Н.Винчелл, Х.Винчелл (1953)	10 без названия	19 без названия	[23]
И.Костов (1971)	12 классов	23 А, Б, В...	[34]
К.Херлбат, К.Клейн (1982)	13 без названия	24 без названия	[58]
И.Костов (1993)	13 классов	37 без названия	[35]
Е.И.Семенов (1981)	18 классов	118 подклассов	[46]
А.М.Кларк (1993)	32 без названия		[72]
Предложено	7 подклассов	21 тип	

В следующем разделе мы постараемся эту идею довести до конца.

### **1.3. Первые два таксона классификации минералов.**

#### **1.3.1. Роль электроотрицательных элементов в предлагаемой классификации.**

В предыдущей главе для иллюстрации современного состояния классификации минералов была приведена таблица первых двух таксонов, фигурирующих в учебниках и монографиях разных авторов. В последней строке этой таблицы были приведены соответствующие цифры для предлагаемой нами классификации. В этой главе эти числа будут обоснованы.

Для создания научной классификации всегда требуется использование определенной парадигмы.

Для данного раздела классификации принятую нами парадигму можно характеризовать четырьмя принципами:

1. Классификация минералов (КМ) должна быть общей с химической классификацией, т.к. минералы являются природными химическими соединениями.

2. В основу классификации должен быть положен периодический закон химических элементов.

3. Должны быть использованы кристаллохимические данные об атомных структурах простых веществ и соединений.

4. Разрабатываемая классификация должна максимально приближаться к естественным классификациям.

Как сказано в разделе 1.1, использование существующих законов природы для классификации определяет существенные признаки, положенные в ее основу. По этой причине следует попытаться использовать для наших целей периодическую систему химических элементов.

Периодический закон иллюстрируется всегда в форме таблиц, а таблицы для этой цели выбираются разными способами. В книге А.Н.Трифорова "Периодическая система элементов. История в таблицах" [52] подробно описана история развития периодической системы химических элементов. В ней, в частности, говорится, что в настоящее время в мире фигурирует около 500 различных таблиц. Нашей задачей, следовательно, является выбор единственного варианта таблицы, на основе которой удобнее всего продемонстрировать идею Берцелиуса о разделении всех химических элементов на электроположительные и электроотрицательные (в дальнейшем мы вместо этих терминов будем пользоваться в качестве их синонимов терминами металлы и неметаллы) и использование неметаллов для

классификации химических соединений, в частности, минералов.

Таблицы ПСХЭ делятся прежде всего по форме: на короткие, длинные (развернутые) и пирамидальные. Каждый из вариантов таблицы может быть представлен в любой из этих форм.

Варианты таблиц отличаются друг от друга главным образом различным положением некоторых элементов в а- и b-подгруппах. В первую очередь здесь надо упомянуть положение водорода. В некоторых таблицах он располагается в 1-а подгруппе (подгруппе щелочных металлов), в других — в VII-b подгруппе (подгруппе галогенов). Провести в таблице границу, отделяющую металлы от неметаллов можно только на длинной по форме таблице. При этом водород должен быть расположен в VII-b подгруппе. Этот вариант представлен на рис. 2. Впервые он был предложен Н. Бором в 1932 году (в пирамидальной форме). В упомянутой выше книге А.Н. Трифонова он фигурирует под №15 (с. 17). Совсем четко этот вариант таблицы в длинной форме впервые фигурирует у Л.Квилла (1938) (см. книгу Трифонова, табл. 21, с. 23). Кстати говоря, именно этот вариант в длинной форме таблицы фигурирует в настоящее время в большинстве учебников химии. В длинной форме таблицы металлические элементы располагаются в ее левой части, а в правой части — неметаллические, поэтому появляется возможность их разделения. Z-образная граница между ними проведена нами на основании атомных структур простых веществ (находящихся в обычных P,T-условиях) для соответствующих химических элементов. У простых веществ, являющихся неметаллами, атомные структуры имеют координационные числа 6 и меньше. Большинство из этих структур подчиняются правилу Юма-Розери. В структурах металлов координационные числа 8 и больше (обычно 8 и 12) [65]. Два слова о принятой терминологии.

**Определение 15.** *Простым веществом* в химии называются вещества, состоящие из атомов одного химического элемента.

**Определение 16.** Под понятием *химический элемент* подразумевается совокупность атомов с одинаковым зарядом атомных ядер и одинаковым числом электронов в атомной оболочке. Понятия простое вещество (ПВ) и химический элемент (ХЭ) нередко путают вследствие того, что в большинстве случаев ХЭ и образуемые ими ПВ имеют одно и то же название (золото, медь, сера, фосфор и т.п.).

В научной литературе Западной Европы и США вообще понятие "простое вещество" отсутствует. Между тем еще Д.И. Менделеев в 1869 г. писал, что в этих понятиях "такое различие должно всегда существовать".

Для классификации веществ используются их свойства (призна-





ки), а свойства ПВ и свойства ХЭ совершенно разные. В частности, такие свойства как кристаллическая структура или координационное число атомов в структуре относятся к понятию простого вещества, а не к понятию химического элемента. Простые вещества — графит, алмаз, уголь — состоят из атомов одного и того же химического элемента (углерода), но различаются по атомному строению и свойствам.

Понятие "неметалл" нигде в литературе не фигурирует, вместо единого названия фигурируют термины полуметаллы, полупроводники, изоляторы и т.п., а "металлы" определяются в физике, но не через их атомную структуру, а по их свойствам: электропроводности, блеску, ковкости. У типичных металлов удельная электропроводность при комнатной температуре  $10^6$ — $10^4$  ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup> (тогда как, например, у серы  $10^{-17}$ ). Под это определение отнюдь не обязательно попадают только простые вещества. Ему удовлетворяют и различные интерметаллические соединения, состоящие из нескольких химических элементов.

Как говорилось выше, все элементы, стоящие от Z-образной границы слева, мы будем называть металлами, стоящие справа — неметаллами. Простые вещества из элементов, стоящих около этой Z-границы, при других условиях (P и T) могут существенно изменить эти свойства, т.е. из неметаллов превращаться в металлы (например олово). Кроме того, в различных соединениях они могут иметь то положительные, то отрицательные заряды (например, SnO<sub>2</sub> и Mg<sub>2</sub>Sn).

Итак, классификация минералов будет проводиться по неметаллам. Неметаллов всего 27. Из них 8 в природных минералах не встречаются (это Po, At и 6 благородных газов); остается 19. Они располагаются в ПСХЭ в пяти b-подгруппах с III по VII. Первый акт деления царства минералов — на 7 подцарств. Первое подцарство — самородные металлы и их интерметаллические соединения, т.е. минералы, в составе которых нет неметаллов. Во втором подцарстве присутствуют только неметаллы. Подцарства с третьего по седьмое (назовем их основными) по составу будут соответствовать соединениям металлов с неметаллами III-b, IV-b, V-b, VI-b и VII-b подгрупп соответственно.

Второй акт — деление подцарств на типы. Для основных подцарств это будет последовательность в каждой подгруппе отдельных неметаллических элементов. Так, в третьем подцарстве будет один тип, поскольку в этом подцарстве находится только один элемент — бор. У остальных подцарств по несколько типов: в подцарстве с элементами IV-b подгруппы типами будут соединения металлов с

углеродом, кремнием, германием и оловом. Аналогично будут выделяться типы для остальных основных подцарств. Суммарно их будет 19, соответственно 19 неметаллам, встречающимся у минералов.

Первые два подцарства поделить на этом принципе невозможно или во всяком случае нелогично, поэтому будем считать, что в каждом из них осуществляется по одному типу. Всего, следовательно, в минералогической классификации будет 21 тип.

Все, что говорилось выше, справедливо только тогда, когда в каждом случае анионная часть химической формулы минерала будет состоять из атомов единственного неметаллического элемента. Обычно же она состоит из нескольких химических элементов. Чтобы устранить эту проблему, надо решить вопрос, какие элементы в анионной части формулы являются *преобладающими* или *предпочтительными*.

Преобладание одного неметалла над другим в анионной части химической формулы минерала может осуществляться двумя способами: атомы этих неметаллов связаны в комплексный ион (например  $\text{CaCO}_3$  — кальцит,  $\text{ScSi}_2\text{O}_7$  — тортвейтит) или же неметаллические атомы изолированы друг от друга (квенселит —  $\text{PbMnO}_2(\text{OH})$ ). Во всех этих случаях тип будет определяться преобладающим атомом кислорода. Другие неметаллические атомы будут учитываться в более низких таксонах.

Случай отношений между двумя неметаллами, называемый "предпочтением", возникает прежде всего тогда, когда число атомов неметаллов в анионной части химической формулы минерала одинаково, т.е. когда нет преобладания числа атомов одного неметалла над числом другого. Например: виллиамит —  $\text{CoSbS}$  (5400)\*, гудмундит —  $\text{FeSbS}$  (5400), герсдорфит —  $\text{NiAsS}$  (5300), матлокит —  $\text{PbFCl}$  (7200), терлингуаит —  $\text{Hg}_2\text{OCl}$  (6100), мендипит —  $\text{Pb}_3\text{O}_2\text{Cl}_2$  (6100).

Здесь необходимо воспользоваться принципом предпочтения. Ряд предпочтения представляет собою перечисление всех 19-ти встречающихся у минералов неметаллов, слева-направо, сверху-вниз по ПСХЭ, т.е.  $\text{B}-\text{C}-\text{Si}-\text{Ge}-\text{Sn}-\text{N}-\text{P}-\text{As}-\text{Sb}-\text{Bi}-\text{O}-\text{S}-\text{Se}-\text{Te}-\text{H}-\text{F}-\text{Cl}-\text{Br}-\text{I}$ . Предпочитается тот элемент, который стоит в этом ряду ближе к началу, независимо от того, образуют ли оба неметаллических атома комплексный анион или присутствуют в структуре изолированно друг от друга.

Используя ряд предпочтения, надо учитывать особую кристалло-

\* Объяснение числовых символов дано ниже.

химическую роль водорода. Минералы никогда не существуют в виде гидридов (типа LiH, NaN и т.п.), так как H<sup>-</sup> в минералах не встречается. Напротив, H<sup>+</sup> бывает в катионной части формулы. Самый обычный случай, когда водород в минерале существует в виде гидроксильных групп OH<sup>-</sup> или молекул воды H<sub>2</sub>O. Поскольку все высшие таксоны в нашей классификации основываются на анионах, постольку H<sup>+</sup> в ней не учитывается, а молекулы воды учитываются только в низших таксонах. Гидроксильные же ионы фигурируют аналогично одноатомным ионам других элементов во всех разделах классификации, поэтому используя ряд предпочтения, целесообразно считать, что место водорода в нем занимает гидроксил. Часто водород располагается между двумя атомами кислорода, образуя длинные или короткие водородные связи, что определяется расстояниями между соответствующими атомами кислорода. В первом случае они порядка 2.9, а во втором 2.5 Å. В длинных водородных связях атом водорода тесно связан с одним из этих двух атомов кислорода OH...O, а в коротких он находится приблизительно на одинаковых расстояниях от обоих атомов кислорода. В этом случае он играет роль катиона и его надо писать в катионной части формулы независимо от того, осуществляется короткая водородная связь в одном Si—O мотиве (например, в цепочке) или она объединяет две соседние цепочки. Например, в структуре серандита, представляющего собою цепочечный силикат, короткая водородная связь осуществляется между атомами кислорода двух тетраэдров в одной цепочке. Его формулу следует писать HNa(Mn, Ca)[Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>].

Молекулы воды в минералах образуют только длинные водородные связи.

### 1.3.2. Десятичная классификация.

Поскольку разрабатываемая нами классификация минералов базируется на ПСХЭ, а в ней 8 групп и не более 6-ти элементов в каждой подгруппе, постольку для характеристики ее таксонов целесообразно использовать десятичную систему.

Все подцарства будут характеризоваться первой цифрой десятичного символа (от 1 до 7), а типы — двумя (см. табл. 2).

Таблица 2. Десятичные символы для подцарств и типов в классификации минералов.

Подцарство	1	2	3*	4	5	6	7
Тип	11	21	31*	41 42 43* 44	51 52 53 54 55	61 62 63 64	71 72 73 74 75
Неметалл	нет	любой	B	C Si Ge Sn	N P As Sb Bi	O S Se Te	OH F Cl Br I

\* минералов нет

Неметалл (например, кислород) может быть в соединении единственным, преобладающим или предпочитаемым — см. соответственно:  $MgO$  — периклаз,  $CaCO_3$  — кальцит,  $Pb_3O_2Cl_2$  — мендипит.

Разрабатываемая система должна быть достаточно широкой, чтобы обязательно охватить все царство минералов. В результате в ней могут оказаться таксоны, в которых минералов нет, но известны соответствующие химические соединения. Такие "пустые" таксоны, во-первых, нужны для понимания идеи, заложенной в разработку системы, и во-вторых, в таких таксонах минералы в будущем могут быть найдены, поскольку существуют подобные искусственные соединения. Конечно все такие случаи должны быть специально оговорены.

В последней таблице в одном подцарстве и в двух типах нет минералов. Они отмечены звездочками. Примерами для типа 31 могут быть искусственные соединения  $TiB$  и  $Ta_2B$ , а для типа 43 —  $Mg_2Ge$ .

Последнее замечание касается принятой терминологии таксонов. Как видно из табл. 1 раздела 1.2.3., авторы для первых двух таксонов употребляют самые различные термины. В частности, даже такой важнейший таксон как "класс" употребляется для обозначения второго и даже в качестве первого акта деления. Можно рекомендовать использовать для терминов таксонов биологическую терминологию, как самую распространенную и устоявшуюся и не вносить очередную путаницу в этот вопрос. Класс в ней соответствует четвертому акту деления, последовательность таксонов, например в царстве животных, такова: царство животных — подцарство многоклеточных — тип хордовых — подтип позвоночных — класс млекопитающих.

## **1.4. Классы минеральных видов в десятичной классификации.**

### **1.4.1. Подтипы и классы.**

После деления царства минералов на подцарства и типы можно переходить к следующим таксонам: подтипам и классам. Индекс подтипа обозначается третьей цифрой десятичного символа и определяется номером подгруппы ПСХЭ. Например, карбонаты 6141, силикаты 6142 и станнаты 6144 относятся к одному подтипу. Деление на классы является, как сказано выше, очень важным этапом классификации, который фигурирует практически во всех опубликованных книгах по минералогии. Правда, это понятие никак там не объясняется и находится у разных авторов на разных уровнях клас-

сификации. Кроме того, объем (т.е. наполнение минеральными видами) каждого класса, даже с одинаковым названием, у разных авторов не совпадает.

Таксон "класс" важен потому, что отнесение к нему определенных минеральных видов в подавляющем числе случаев становится возможным в результате хорошего химического анализа. Все последующие таксоны требуют уже знания атомной структуры кристаллов этого минерала.

Легко определить класс в том случае, когда в химической формуле минерала неметалл представлен единственным элементом. (См. третий столбец табл. 3). В этом случае к индексу типа прибавляется два нуля\*: 4100 класс карбидов, 4200 силицидов, 4400 — станнидов, 5100 — ..., 6100 — класс оксидов (окислов), 6200 — класс сульфидов, 7300 — класс хлоридов и т.д. Тип 31 (бориды) и соответственно класс 3100, а также тип 43 и 4300 у минералов отсутствуют, но среди искусственных соединений они представлены достаточно широко. Первые два типа (табл. 3) делятся на таксоны ниже класса, поэтому для этих типов соответствующие классы тоже будут заканчиваться двумя нулями. Преобладание одного неметалла над другим в анионной части химической формулы минерала может осуществляться двумя способами: атомы этих неметаллов связаны в комплексный ион из трех или большего числа элементов (например,  $O_3$  в  $CO_3$ ); или они в структуре кристалла изолированы. В первом случае класс определяется обоими неметаллами. См. например: тенардит —  $Na_2SO_4$  (6162), натровая селитра —  $NaNO_3$  (6151), кальцит —  $CaCO_3$  (6141), прустит —  $Ag_3AsS_3$  (6253), котоит —  $Mg_3(BO_3)_2$  (6131), тортвейтит —  $Se_2Si_2O_7$  (6142). Третий индекс характеризует подтип, четвертый — класс. Номер их, также как и для подцарства и типов, определяется положением элемента в ПСХЭ. Во втором случае, когда неметаллические атомы изолированы друг от друга, класс определяется преобладающим или предпочитаемым неметаллом, а наличие дополнительных неметаллов определяется в более низких таксонах. Диаболеит —  $Pb_2Cu(OH)_4Cl_2$  (7100), квенселит —  $PbMnO_2(OH)$  (6100) (табл. 3).

\* Вероятно, логичнее было бы обозначать их двумя единицами. Однако единиц в полном индексе очень много (там они необходимы), и на рассматриваемом уровне они будут усложнять восприятие.

Таблица 3. Классы минеральных видов, имеющих в третьем и четвертом индексе десятичного символа нули.

Индекс класса	Название или характеристика класса	Примеры минералов, у которых неметаллы		
		единственные	преобладающие	предпочитаемые
1100	Металлы и интерметаллические соединения	Cu — медь, Au — золото	Cu <sub>3</sub> Au — аурикуприд	PdPb — полярит
2100	Неметаллы и соединения из неметаллических элементов	C — графит, As — мышьяк	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — валентинит	CSi — муассанит, AsS — реалгар
3100**)	Бориды	TiB**), Ta <sub>2</sub> B**), MnB**)		
4100*)	Карбиды	Fe <sub>3</sub> C — когениит		
4200	Силициды	Fe <sub>3</sub> Si — зюссит		
4300**)	Германиды	Mg <sub>2</sub> Ge**)		
4400	Станниды	Pd <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> — станнопалладинит		
5100	Нитриды	Fe <sub>5</sub> N <sub>2</sub> — сидеразот		
5200	Фосфиды	(Fe,Ni) <sub>3</sub> — шрейберзит		
5300	Арсениды	Cu <sub>3</sub> As — домейкит		NiAsS — герсдорфит
5400	Стибниды	Ag <sub>3</sub> Sb — дискразит		NiSbS — ульманит
5500	Висмутиды	AuBi — мальдонит		
6100*)	Оксиды	MgO — периклаз	PbMnO <sub>2</sub> (OH) — квенсилит	HgOCl — терлингваит, Pb <sub>3</sub> O <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> — мандипит
6200*)	Сульфиды	ZnS — сфалерит, CuFeS <sub>2</sub> — халькопирит, FeS <sub>2</sub> — пирит	Zn <sub>3</sub> S <sub>4</sub> O — вольтцит	
6300*)	Селениды	CuSe — клокманнит		NiSeTe — киткаит
6400*)	Теллуриды	PbTe — алтант		
7100*)	Соединения гидроксила (гидроксиды)	Mg(OH) <sub>2</sub> — брусит	Pb <sub>2</sub> Cu(OH) <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> — диаболит	PbCuCl <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> — перлцит
7200*)	Фториды	MgF <sub>2</sub> — селлаит	CaAl <sub>2</sub> (F,OH) <sub>8</sub> — прозопит	PbFCl — матлокит
7300	Хлориды	NaCl — галит	Pb <sub>3</sub> Cl <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> — фидлерит	
7400	Бромиды	AgBr — бромаргирит		
7500	Иодиды	CuI — маршит		

Примечания: \*) В этом типе есть и другие классы.

\*\*\*) Искусственные соединения. Минералов нет.

Кроме "единственных" неметаллических атомов в классах, оканчивающихся на 00, могут быть еще "преобладающие" и "предпочитаемые" неметаллы. Всего в табл. 3 фигурирует 21 класс. Реально существует 19 классов, символ которых оканчивается на 00. При этом 7 типов имеют дополнительные классы к тем классам, которые оканчиваются на 00, а 14 типов не имеют дополнительных классов. Это типы: 11, 21, 42, 44, 51, 52, 53, 54, 55, 74 и 75, а также пустые 31 и 41. Им соответствуют 14 подтипов: 110, 210, 310 и т.д.

Некоторые типы, у которых индекс классов оканчивается на два нуля, в анионной части состава имеют дополнительные классы с прочными многоатомными комплексными анионами. Обычно такие типы очень богаты минеральными видами и, следовательно, нуждаются в дальнейшей классификации. Таких типов 7: 41, 61, 62, 63, 64, 71 и 72. Остальные 12 типов (19–7) беднее минеральными видами, и поэтому обычно в учебниках минералогии они фигурируют в виде отдельных классов, а их представители включаются в другие классы.

#### 1.4.2. Классы в типе 61

Отдельные подцарства и типы (табл. 3) содержат разное количество минеральных видов. Наиболее богат дополнительными классами тип 61, у которого преобладающим неметаллом является кислород.

Богатые объектами таксоны требуют дальнейшей классификации. С них надо начинать работу, потому что объекты из бедных видами таксонов могут получить правильный индекс десятичного символа, отличный от единицы, только по аналогии с богатыми таксонами.

В результате всего сказанного выскажем соображение о делении типа 61 на классы, где преобладающим неметаллом в комплексном анионе будет кислород (табл. 4).

Предпочтительным кислород может быть только в случае, когда неметаллов в анионной части формулы равное количество, но минералы такого состава относятся к классу оксидов 6100. Таких минералов немного, т.к. предпочитаться кислород будет только перед элементами VI-b и VII-b подгрупп ПСХЭ.

В таблице 4 собраны классы в типе 61. Из 19 неметаллических атомов только 16 могут образовывать комплексные ионы с кислородом. Из этой таблицы исключены ионы, которые не могут с атомами кислорода образовать такие комплексы — это сам кислород, гидроксил и фтор. Для трех классов неизвестны минералы. В табл. 4 они отмечены звездочками в первом столбце. Следовательно, мы имеем 16 (19—3) таких классов.

Эти 13 классов и класс 6100 наиболее богаты минеральными видами, поэтому они обычно и фигурируют в качестве классов в учебниках минералогии.

Таблица 4. Классы минеральных видов в типе 61 (оксо-соединения)

Класс	Центральный атом в комплексном ионе	Название класса	Пример
6131	B	Бораты	$Mg_3(BO_3)_2$ — котонит
6141	C	Карбонаты	$Ca(CO_3)$ — кальцит
6142	Si	Силикаты	$Mg_2(SiO_4)$ — форстерит
6143*)	Ge	Германаты	$Sr(GeO_3)$ — минералов нет
6144	Sn	Станнаты	$Ta_2(SnO_4)O_3$ — торолит
6151	N	Нитраты	$Na(NO_3)$ — натровая селитра
6152	P	Фосфаты	$Ce(PO_4)$ — монацит, $Mg_2(PO_4)F$ — валкерит
6153	As	Арсенаты	$Zn_2(AsO_4)OH$ — адамант
6154	Sb	Стибнаты	$Ta(SbO_4)$ — стибноганталит
6155	Bi	Висмутаты	$V_2(BiO_4)_2$ — пухерит
6162	S	Сульфаты	$K_2(SO_4)$ — арканит
6163	Se	Селенаты	$Cu(SeO_3) \cdot 2H_2O$ — халькоменит
6164	Te	Теллулаты	$Fe_2(TeO_3) \cdot 4H_2O$ — дурденит
6173*)	Cl	Хлораты	$NaClO_3$ — минералов нет
6174*)	Br	Броматы	$KBrO_3$ — минералов нет
6175	I	Иодаты	$Ca(IO_3)_2$ — лаутарнт

\*) В этих классах минералы не встречались

#### 1.4.3. Остальные шесть типов с многоатомными анионами.

В табл. 5 собраны классы остальных шести типов, у которых имеются многоатомные комплексные анионы. Чтобы содержание типов было полным, для каждого типа выписаны и классы, символы которых оканчиваются на два нуля и которые выше были указаны в табл. 3.

В типе 41 дополнительные классы 4141 и 4151 выделены из-за предпочтения связей C-C и C-N всем другим их свойствам. Первый из них характеризует все соли органических кислот, которых в настоящее время синтезировано очень много, но лишь небольшое количество существует в виде минералов. Сюда, конечно, относится и абелсонит. В класс 4151 помещены минералы, содержащие в своем составе циано- или родано-группы.

Далее в табл. 5 выписаны классы для типов 62, 63, 64, 71 и 72, состав которых виден на приведенных в таблице примерах.

В типе 62, в отличие от типа 61 (табл. 4), отношения числа атомов серы к числу других атомов неметаллов, занимающих обыч-



но центральное место в комплексном анионе, как правило, весьма разнообразно. Так, например, встречаются минералы, где эти отношения 4:1, 13:4, 3:1, 11:4, 8:3, 12:5, 2:1 и др. См., например,  $\text{Cu}_3\text{SbS}_4$  — фаматинит,  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  — тетраэдрит,  $\text{CuPbSbS}_3$  — буонотит,  $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$  — булонжерит,  $\text{Al}_3\text{Pb}_2\text{Sb}_3\text{S}_8$  — диафорит,  $\text{Ag}_5\text{Pb}_3\text{Sb}_5\text{S}_{12}$  — фрейеслебениит,  $\text{CuPbBi}_5\text{S}_9$  — гладит,  $\text{AgSbS}_2$  — миаргирит,  $\text{FeSb}_2\text{S}_4$  — бертьерит.

Подобные особенности будут учитываться в таксонах более низких, чем класс. В тех случаях, когда число атомов серы не преобладает над числом других неметаллов, а только равно ему, минералы необходимо классифицировать по принципу "предпочтения". Так, например,  $\text{NiSbS}$  — ульманит будет относиться к классу стибинов с символом 5400.

Таблица 5. Классы карбо-, тио-, селено-, теллуру-, гидроксо-, фторо-типов соединений

Класс	Название или характеристика класса	Пример
4100	Карбиды	$\text{Fe}_3\text{C}$ — когонит
4141	Соединения металлов с аннонами, содержащими С-С-связь	$\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — гумбольдтин, $\text{NiC}_{32}\text{N}_4\text{H}_{36}$ — абелсонит
4151	Соединения металлов с анионами, содержащими С-N связь	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ — кафегидроцианит, $\text{Na}_2\text{Co}(\text{SCN})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ — жюльенит
6200	Сульфиды	$\text{ZnS}$ — сфалерит
6243	Тио-германаты	$\text{Ag}_8(\text{GeS}_6)$ — аргиродит, $\text{Cu}_3\text{GeS}_4$ — германит
6244	Тио-станнаты	$\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{SnS}_4)$ — станнин
6253	Тио-арсенаты	$\text{Ag}_3(\text{AsS}_3)$ — прустит
6254	Тио-антимонаты	$\text{Cu}_3(\text{SbS}_4)$ — фаматинит
6255	Тио-висмутаты	$\text{Pb}(\text{BiS}_4)$ — галеновисмутит
6300	Селениды	$\text{Cu}_2\text{Se}$ — берцелианит
6353	Селено-арсенаты	$(\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Ag})_{12}(\text{As}, \text{Sb})_4(\text{Se}, \text{S})_{13}$ — жироднт
6354	Селено-антимонаты	$\text{Cu}_3(\text{SbSe}_4)$ — перминжатит
6355	Селено-висмутаты	$\text{AgBiSe}_2$ — богдановичит
6400	Теллуриды	$\text{Ag}_2\text{Te}$ — гессит
6454	Теллуру-антимонаты	$\text{Pd}_3(\text{SbTe}_4)$ — боровскит
6455	Теллуру-висмутаты	$\text{Ag}(\text{BiTe}_2)$ — волинскит
7100	Гидроксиды	$\text{Mg}(\text{OH})_2$ — брусит
7143	Гидроксогерманаты	$\text{FeGe}(\text{OH})_6$ — стоттит
7200	Фториды	$\text{CaF}_2$ — флюорит
7231	Фторобораты	$\text{Na}(\text{BF}_4)$ — ферручит
7242	Фторосиликаты	$\text{Na}_2(\text{SiF}_6)$ — малладрит

В учебниках минералогии часто все тио-соединения рассматрива-

ются как один класс с сульфидами и, аналогично, с соединениями селена, теллура и другими классами, собранными в табл. 5.

Подведем итоги подсчета числа классов минеральных видов. Как сказано в предыдущей главе, число типов равняется 21. Все 19 неметаллических химических элементов определяет основные 19 типов соединений, содержащих в своем составе металлы и неметаллы. Кроме того, имеется еще два дополнительных типа: первый — металлы с металлами, т.е. не имеющие в своем составе неметаллов, а второй — неметаллов с неметаллами, т.е. не содержащих в своем составе металлов. Из 21 типа — два типа пустых (это 31 и 43). Для них известны только искусственные соединения.

Каждому из оставшихся 19-ти типов соответствуют 19 классов, символы которых оканчиваются двумя нулями (см. табл. 3). Эти классы в своем составе не содержат многоатомных анионов, они классифицируются не только по единственному химическому элементу, но по преобладающему или предпочитаемому. Семь типов имеют еще и дополнительные классы с комплексными ионами (из трех или большего числа) неметаллических химических элементов: 41, 61, 62, 63, 64, 71, 72. Таким образом, количество типов с одним классом будет равно 12 (+2 пустых).

Вот эти классы: 1100, 2100, 4200, 4400, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 7300, 7400, 7500.

Пустые типы 31 и 43 дадут, конечно, соответственно пустые классы 3100 и 4300.

У семи типов, с несколькими классами в каждом, будет всего 38 классов, и из них 3 будут пустыми (они отмечены в табл. 4 звездочками), т.е. реально установленных к настоящему времени будет 35. Ниже они перечислены: тип 41:4100, 4141, 4151; тип 61:6100, 6131, 6141, 6142, 6143\*, 6144, 6151, 6152, 6153, 6154, 6155, 6162, 6163, 6164, 6173\*, 6174\*, 6175; тип 62:6200, 6243, 6244, 6253, 6254, 6255; тип 63:6300, 6353, 6354, 6355; тип 64:6400, 6454, 6455; тип 71:7100, 7143; тип 72:7200, 7231, 7242.

Всего реально установлено к настоящему времени 47 классов.

В табл. 6 собраны все 52 класса минеральных видов, из них 5 пустых классов. В первой графе дается их десятичный символ, затем идет название класса или его характеристика и примеры составов минералов или химических соединений, относящихся к каждому классу. В этой таблице пять пустых для минералов классов. Они отмечены в первой графе звездочкой. Там же указаны примеры соответствующих химических соединений. Можно предположить, что когда-либо и для этих классов будут найдены в природе минералы. Скорее всего, таких находок можно ожидать в классе 6173.

Таблица 6. Классы минеральных видов

Индекс	Название или характеристика	Пример
1100	Металлы	$\text{Cu}, \text{Cu}_3\text{Au}$
2100	Неметаллы	$\text{S}, \text{AsS}$
3100*	Бориды	$\text{TiB}$
4100	Карбиды	$\text{Fe}_3\text{C}$
4141	Соединения металлов с анионами, содержащими С-С-связь	$\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
4151	Соединения металлов с анионами, содержащими С-N-связь	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
4200	Силициды	$\text{Fe}_3\text{Si}$
4300*	Германиды	$\text{Mg}_2\text{Ge}$
4400	Станниды	$\text{Pd}_3\text{Sn}_2\text{P}$
5100	Нитриды	$\text{Fe}_5\text{N}_2$
5200	Фосфиды	$(\text{Fe}, \text{Ni})_3\text{P}$
5300	Арсениды	$\text{Cu}_3\text{As}$
5400	Стибниды	$\text{Ag}_3\text{Sb}$
5500	Висмутиды	$\text{Au}_2\text{Bi}$
6100	Оксиды	$\text{MgO}$
6131	Бораты	$\text{Mg}_3(\text{BO}_3)_2$
6141	Карбонаты	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$
6142	Силикаты	$\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)$
6143*	Германаты	$\text{Sr}(\text{GeO}_3)$
6144	Станнаты	$\text{Ta}_2(\text{SnO}_4)\text{O}_3$
6151	Нитраты	$\text{Na}(\text{NO}_3)$
6152	Фосфаты	$\text{Mg}_2(\text{PO}_4)\text{F}$
6153	Арсенаты	$\text{Zn}_2(\text{AsO}_4)\text{OH}$
6154	Стибнаты	$\text{Ta}(\text{SbO}_4)$
6155	Висмутаты	$\text{V}_2(\text{BiO}_4)_2$
6162	Сульфаты	$\text{K}_2(\text{SO}_4)$
6163	Селенаты	$\text{Cu}(\text{SeO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
6164	Теллулаты	$\text{Fe}_2(\text{TeO}_3) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
6173*	Хлораты	$\text{Na}(\text{ClO}_3)$
6174*	Броматы	$\text{K}(\text{BrO}_3)$
6175	Иодаты	$\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$
6200	Сульфиды	$\text{ZnS}$
6243	Тио-германаты	$\text{Ag}_8(\text{GeS}_6)$
6244	Тио-станнаты	$\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{SnS}_4)$
6253	Тио-арсенаты	$\text{Ag}_3(\text{AsS}_3)$
6254	Тио-антимонаты	$\text{Cu}_3(\text{SbS}_4)$
6255	Тио-висмутаты	$\text{Pb}(\text{BiS}_4)$
6300	Селениды	$\text{Cu}_2\text{Se}$

Индекс	Название или характеристика	Пример
6353	Селеноарсениаты	$(\text{Cu,Zn})_6(\text{AsSe}_4)_4$
6354	Селеноантимоиаты	$\text{Cu}_3(\text{SbSO}_4)$
	Селеновисмутаты	$\text{AgBiS}_2$
6400	Теллулаты	$\text{Ag}_2\text{Te}$
6454	Теллурантимоанаты	$\text{Pb}_3(\text{SbTe}_4)$
6455	Теллуровисмутаты	$\text{AgBiTe}_2$
7100	Гидроксиды	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
7143	Гидроксогерманиды	$\text{FeGe}(\text{OH})_6$
7200	Фториды	$\text{CaF}_2$
7231	Фторобораты	$\text{Na}_2(\text{BF}_4)$
7242	Фторосиликаты	$\text{Na}_2(\text{SiF}_6)$
7300	Хлориды	$\text{NaCl}$
7400	Бромиды	$\text{AgBr}$
7500	Иодиды	$\text{AgI}$

Всего: подцарств  $7(-1)=6$  типов  $21(-2)=19$ , подтипов  $35(-2)=33$ , классов  $52(-5)=47$ . После знака равенства стоят числа первых четырех таксонов, реально существующих в царстве минералов.

## 2. Систематика минеральных видов в классе силикатов

### 2.1. Класс силикатов

#### 2.1.1. Общие положения о классе силикатов

Прежде, чем переходить к делению класса на более низкие таксоны, необходимо сказать несколько слов по некоторым общим вопросам, касающимся этого класса.

**Определение 17.** *Силикаты* — это минералы и синтетические химические соединения (тройные и более сложные), в составе которых имеется какой-либо кремнекислородный анион и компенсирующие его по валентности металлы. В структурах силикатов может быть несколько разных по составу и форме кремнекислородных анионов. Силикаты могут иметь дополнительные анионы (например,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{F}$  и др.), валентность которых тоже, конечно, компенсируется валентностью металлов, входящих в состав данного силиката. Однако число их (в частности, число атомов кислорода в них) не должно превышать числа атомов кислорода, находящихся в основном  $\text{Si-O}$  радикале, по которому и ведется классификация. В структуру силикатов могут входить и нейтральные частицы, прежде всего молекулы воды. В редких случаях в состав самого кремнекислородного радикала вместо атома кислорода входит гидроксил. Условимся рассматривать такие радикалы совместно с чисто кремнекислородными, но помещать их после них.

Часть атомов кремния в кремнекислородном анионе может быть изоморфно заменена "имитаторами" кремния ( $\text{Al}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{Be}$ , реже  $\text{Fe}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Li}$  и др.), имеющими в структурах, как и кремний, координационное число 4. При этом число атомов-имитаторов должно быть меньше или равно числу остающихся в радикале атомов кремния [37, 12].

В написании формулы соблюдается следующий порядок: вначале пишутся металлы, затем в квадратных скобках основной анион (по которому происходит классификация), затем другие анионы и последними выписываются нейтральные частицы. Например, карлтонит —  $\text{Na}_4\text{KCa}_4[\text{Si}_8\text{O}_{18}](\text{CO}_3)_4(\text{OH},\text{F}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Химический анализ только в простейших случаях для силикатов дает правильное отношение  $\text{Si}:\text{O}$ . Обычно же оно устанавливается только после полного определения структуры. В ряде случаев получить из анализа соотношение  $\text{Si}:\text{O}$ , правильно характеризующее структуру минерала, вообще невозможно. Так, в рамзаите  $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Si}_2\text{O}_9$  отношение  $\text{Si}:\text{O}$  больше 4, а кремнекислородный мотив — пироксеновая цепочка состава  $[\text{SiO}_3]$ .

Дополнительный анион  $\text{SiO}_4$  в сложном силикате ничем не луч-

ше дополнительных анионов  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  и др., поэтому и учитывать его надо аналогично. Предлагается помещать их после основного (по которому идет классификация) кремнекислородного аниона. Например, макфаллит —  $\text{Ca}_2(\text{Mn}, \text{Al})_3[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})_3$  в структуре которого кроме диортоанионов имеются ортокремневые тетраэдры. Если же в силикатном минерале имеется два кремнекислородных радикала, то классификация идет по более сложному, или точнее, по тому, который включает большую часть кислорода. Так, например, если в химической формуле силиката на один радикал  $[\text{Si}_2\text{O}_7]$  приходилось бы два радикала  $[\text{SiO}_4]$ , то его надо было бы считать ортосиликатом. Например, ревдит  $\text{Na}_{16}[\text{Si}_4\text{O}_6(\text{OH})_5]_2(\text{Si}_8\text{O}_{15}(\text{OH})_6)(\text{OH})_{10} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$ : в его химической формуле две цепочки  $[\text{Si}_4\text{O}_6(\text{OH})_5]_2$  имеют большее число атомов O, OH (22), чем в лентах  $[\text{Si}_8\text{O}_{15}(\text{OH})_6]$ , где это число равно 21. Поэтому ревдит классифицируется как цепочечный силикат, а не как ленточный.

Как говорилось в разделе 1.3., при классификации обязательно должно учитываться соотношение чисел разных неметаллических элементов в анионной части химической формулы минерала. Число атомов того химического элемента, который кладется в основу классификации, должно удовлетворить требованию быть единственным, преобладающим или предпочитаемым. К сожалению это требование не всегда используется в монографиях и учебниках минералогии, и часть минералов, в которых над кремнекислородными, преобладают другие анионные радикалы, продолжают считаться почему-то силикатами. Так, например: везеит —  $\text{Ca}_{10}\text{Al}_{24}[\text{PO}_4]_7(\text{SiO}_4)_6\text{O}_{22}\text{F}_3 \cdot 72\text{H}_2\text{O}$  является фосфатом, а не силикатом, т.к. в его составе число атомов кислорода в ионах  $(\text{PO}_4)$  преобладает над числами атомов кислорода в ионах  $\text{SiO}_4$ .

Датолит —  $\text{CaBSiO}_4\text{OH}$ , который должен быть написан  $\text{Ca}[\text{BO}_3\text{OH}]\text{Si}^{\text{IV}}\text{O}$  и гелландит —  $(\text{Ca}, \text{Y})_6(\text{Al}, \text{Fe})[\text{B}_2\text{O}_5(\text{OH})_2]_2\text{Si}_4^{\text{IV}}\text{O}_8(\text{OH})_2$  являются боратами, т.к. бор предпочитается кремнию.

Оксидами являются баотит —  $\text{Ba}_4(\text{T}_6\text{Nb})_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})\text{O}_{16}\text{Cl}$ , несмотря на то, что в его структуре имеется кольцо  $(\text{Si}_4\text{O}_{12})$ , и ферсманит —  $\text{Ca}_5\text{Na}_3\text{Ti}_3\text{Nb}(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}_8\text{F}_2$  — поскольку преобладающим является кислород. Некоторые авторы рассматривают и клатратные соединения, где хозяином является  $\text{SiO}_2$ -группа, среди силикатов. Например, меланофлогит —  $(\text{SiO}_2)_{46}(\text{N}_2, \text{CH}_4, \text{CO}_2)_8$ , хотя клатраты должны классифицироваться по составу соединения-хозяина.

Силикатом считается и эвлитин —  $\text{Vi}_4(\text{SiO}_4)_3$ , т.к. в данном случае Vi играет роль катиона. Однако в ПСХЭ он расположен правее границы, отделяющей металлы от неметаллов, и, следовательно, в

формуле эвлитина нет металлов, что по определению исключает его из класса силикатов.

### 2.1.2. Низший таксон в классе силикатов

Каждая классификация требует очень четкого определения низшего таксона. Поскольку сейчас мы переходим к определению именно низших таксонов, постольку нам необходимо прежде всего определить последний (наинизший) таксон "минеральный вид".

Определение 18. *Минеральным видом* называется простое вещество или его химическое соединение, выкристаллизовавшееся в результате гео- или космохимического процесса из природной физико-химической системы. Состав минерального вида соответствует компоненту или промежуточному химическому соединению этой системы [6, 11]. (После принятия международной рекомендации об условных границах вида в природных физико-химических системах с непрерывными твердыми растворами это определение стало совершенно строгим). За границы вида в случае образования непрерывных твердых растворов между двумя предельными видами принимается их середина, т.е. 50%, в случае трех видов — 33,3% и т.д.

В это определение входит слово "выкристаллизовавшееся", т.е. этим подчеркивается то обстоятельство, что минеральные виды являются кристаллическими веществами. Но среди природных минеральных веществ есть и некристаллические: капельки ртути, аморфные (например, янтарь) и метамиктные образования. Как быть с ними? Мы предлагаем их называть не минералами, а минералоидами. В принципе, их не надо включать в тезаурус или включать с соответствующими оговорками. Их очень немного, порядка 1%, но, конечно же, они являются объектами минералогии. Для них должен быть создан другой, специальный тезаурус.

Несколько слов об использовании терминов "минеральный вид" и "минерал".

Выше дано определение понятия "минеральный вид". Конечно, классифицироваться могут именно минеральные виды. Термин "минерал" используется в литературе не только для понятия минерального вида, но, кроме того, под этим термином могут подразумеваться и индивиды, под которыми обычно понимаются кристаллы минерального вида или агрегат таких кристаллов; могут подразумеваться и отдельные образцы данного вида, обломки кристаллов и т.п. Строго говоря в каждом из подобных случаев требуется уточнение, о чем именно идет речь. Однако, главным образом, термин "минерал" используется именно для понятия минерального вида. Мы и в дальнейшем будем пользоваться обоими терминами как синонимами,

если такое использование термина "минерал" не вызывает упомянутых выше разночтений.

Уточним понятие "индивида" минерального вида [9]. Каждый вид является совокупностью индивидов (популяция), и если в биологии сам выбор индивидов обычно прост (одно растение, одно животное), то в минералогии он далеко не так очевиден. Если в биологии разделение на части индивида приводит к его гибели (разрезав слона на две части, мы не получим двух слонов), то в минералогии, где за основной признак минерального вида принят кристалл, дело обстоит иначе. Разбив молотком кристалл любого минерала на 100 частиц, мы получим сто индивидов этого минерала (см. [9]).

Кристаллография в XIX в. изучала в основном идеальный кристалл. К этому направлению относится вся математическая кристаллография с ее решетками, простыми формами и различными случаями симметрии. В этом же направлении до 30-х годов нашего века развивались экспериментальные работы по рентгеноструктурному анализу кристаллов. Они продолжают развиваться и сейчас. Однако уже убедительно доказано, что все реальные кристаллы лишь в какой-то мере приближаются к идеальным, что все они имеют большее или меньшее количество дефектов, тем более — естественные кристаллы. И понятие индивида надо относить к реальному, а не к идеальному кристаллу.

В чем различие между понятиями "идеальный кристалл", "кристаллическая среда", "реальный кристалл"?

Идеальный кристалл представлен бездефектной решеткой, и, если отказаться от внешней огранки и связанных с ней краевых эффектов, и распространить решетку до бесконечности, то мы как раз и получим кристаллическую среду.

В отличие от этого предельно идеального случая, реальный кристалл состоит из отдельных блоков, размер которых составляет лишь порядка  $10^{-5}$ — $10^{-6}$  см. Отдельные блоки разориентированы друг по отношению к другу на  $1$ — $3^\circ$ , реже — до  $5^\circ$ . Это и есть кристаллические индивиды. Эти блоки обрываются, в частности, около более крупных дефектов, таких, как линейные и винтовые дислокации, по границам которых концентрируются оборванные связи и другие дефекты (атомного и более крупных размеров). Эти блоки являются областями когерентного рассеяния рентгеновских лучей. И в подобных случаях доменная структура, в частности, будет тоже отражать структуру реального кристалла. Я говорю здесь, например, об антифазных доменах, получающихся в результате распада твердых растворов. В нашей работе рассмотрены вопросы об индивидах в царстве минералов. Очень подробно изучены также образования в лун-



ных и земных пироксенах в работе [57] и других. Для классификации минеральных видов вопрос об их индивидах существенной роли не играет.

### 2.1.3. Разновидности минеральных видов

Очень важен вопрос о разновидностях минеральных видов. Это понятие почти не фигурирует в современной минералогии. Дело в том, что во многих случаях, если один и тот же минеральный вид описывается в разное время и в разных странах, а состав изучаемых образцов отличается небольшим отклонением каких-то изоморфных примесей, то авторы дают этим образцам разные названия. И дальше эти названия продолжают существовать как бы для двух минеральных видов.

Мы предлагаем более чистый (с меньшим количеством изоморфных примесей) минерал считать минеральным видом, а второй считать его разновидностью и, соответственно, не давать ему особого индекса или номера в соответствующих сводках.

Для непрерывных твердых растворов, как и принято в последнее время, следует сохранить название видов только для крайних членов этих рядов, а промежуточные названия (например, в плагиоклазах: олигоклаз, андезин, лабрадор и битовнит) исключить из списков минеральных видов и ограничиться 50%-ным пределом.

В некоторых случаях можно сохранить название вида для первого по времени находки минерала или даже наиболее часто употребляемое в настоящее время название. Выбор того или иного названия для минерального вида по существу не имеет значения. Важно считать только один из них минеральным видом, а второй его разновидностью.

В некоторых случаях упорядоченные в разной степени минералы считаются двумя видами. В этом случае мы предлагаем сохранить название минерального вида для более упорядоченного, а менее упорядоченный считать его разновидностью.

Иногда в минералогии употребляются специальные названия для одних и тех же минеральных видов, различные образцы которых различаются по цвету, форме кристаллов и тому подобным несущественным признакам. Из списков минеральных видов они, конечно, тоже должны быть исключены. Работу по "закрытию" некоторых минеральных видов рано или поздно придется провести.

### 2.1.4. Имитаторы кремния

Очень сложным вопросом классификации силикатов является вопрос об имитаторах кремния. Это ряд химических элементов, ато-

мы которых в кристаллических структурах имеют к.ч. 4. Возникает вопрос, учитывать ли их в составе кремне-кислородных мотивов, по которым идет классификация минералов, или рассматривать их вне этих мотивов. Сразу же оговоримся, что этот вопрос до сих пор не получил окончательного решения. Многочисленные примеры по этому вопросу можно найти в книге П.А.Сандомирского и Н.В.Белова [45]. Основными имитаторами кремния являются В, Al и Be, реже аналогичную роль играют также Li, Fe и Zn. Как видно из этого ряда, только бор является неметаллом, остальные — металлы. Величины их ионных радиусов для к.ч. 4 соответственно равны: В—0,11, Si—0,26, Be—0,27, Al—0,39, Li—0,59, Zn—0,60, Fe—0,64 Å. По размеру ближе всех к кремнию будут Be и Al. Они и являются основными имитаторами среди смешанных силикатов.

Для классификации минеральных видов, содержащих в своем составе элементы-имитаторы кремния (будем обозначать их Im), важно, прежде всего, отношение числа их атомов к числу атомов кремния в формуле минерала. Возможны три случая: 1)  $Im > Si$ , 2)  $Im = Si$  и 3)  $Im < Si$ . В первом случае, когда имитатор является металлом, классификация ведется только по кремне-кислородному мотиву, т.е. металлы-имитаторы во внимание не принимаются.

Так, например, бичулит  $Ca_2Al_2SiO_6(OH)_2$  следует считать ортосиликатом и писать соответствующую формулу так:

$Ca_2Al_2[SiO_4]O_2(OH)_2$ . Тем более аналогично следует писать формулу минералов, у которых имитаторами одновременно являются разные химические элементы. Например, сянхуалит —

$Li_2Be_3Ca_3[SiO_4]_3F_2$ . В нем Si и Be образуют единый каркас, а Li находится вне его, но имеет к.ч. 4. В эвкрипите —  $LiAl[SiO_4]$  атомы Li, Al и Si образуют единый тетраэдрический каркас.

Об особой роли бора следует сказать отдельно. Если в первом случае ( $Im > Si$ ) имитатор — бор, то такой минерал должен считаться (и практически во всех курсах минералогии действительно считается) не силикатом, а боратом, независимо от к.ч. бора. Например, бакерит —  $Ca_4B_5Si_3O_{16}(OH)_3 \cdot H_2O$ , где число атомов кислорода, связанных с бором, превышает число атомов кислорода, связанных с кремнием. Боратами будут и минералы, в формуле которых число атомов бора равно числу атомов кремния, если к.ч.  $B=4$ . Из этих двух неметаллов бор будет предпочтительным элементом. Из этого вытекает, что формулу датолита  $CaBSiO_4(OH)$  следует писать  $Ca[BO_3(OH)]Si^{IV}O$  и считать его боратом. Подробнее вопрос о классификации минералов, содержащих в своем составе Si и B, будет разобран ниже, при детальном описании ортосиликатов (см. раздел 2.2.1.2.).

Если же число металлических имитаторов в формуле равно (или меньше) числу атомов кремния ( $I_m \leq Si$ ), то приходится считаться с их упорядоченностью в структуре.

Структуры силикатов, содержащих имитаторы, могут быть упорядоченными по отношению к атомам кремния и неупорядоченными, т.е. располагающимися в структуре статистически. В ряде случаев тот или иной вариант зависит от условий образования минералов или их существования после образования. В обоих случаях может возникнуть, и обычно возникает, частичная упорядоченность. Как учитывать эти варианты? Валентность всех имитаторов меньше валентности кремния. Это обстоятельство автоматически влечет за собой изменения валентности чисто кремниевых мотивов. При замене Si на Al или на другие  $I_m$  часть атомов кислорода может замещаться на OH-группы в самом мотиве; но может оказаться, что мотив остался чисто кислородным и соответствующая замена произошла в катионной или анионной части структуры, находящейся вне основного мотива. Во всяком случае, если структура полностью разупорядочена, то независимо от того, равно или меньше число атомов имитаторов по отношению к числу атомов кремния, приходится суммировать число всех имитаторов с числом атомов кремния в основном мотиве и классифицировать подобный силикат в соответствии с формулой этого мотива. См., например, плагиоклазы. Когда же структура упорядочена, то классифицироваться она может двояко. В одном случае основным мотивом может считаться суммарное сочетание тетраэдров  $SiO_4$  и  $I_mO_4$ , а во втором — только мотив из  $SiO_4$ -тетраэдров (точнее,  $Si(O,OH)_4$ ) рассматривается как основной, а атомы-имитаторы независимо от их сочетаний с O,OH рассматриваются отдельно от кремниевого мотива. В обоих случаях симметрия у соответствующих упорядоченных и неупорядоченных структур будет отличаться друг от друга. Например, плоскости симметрии или центры инверсии, присутствующие в неупорядоченных структурах, как правило, исчезнут в структурах упорядоченных. А из этого обстоятельства следует тот важный факт, что вещества одного состава с упорядоченной и неупорядоченной структурой будут двумя минеральными видами.

Упорядоченность и соответственно неупорядоченность обычно не являются полными; как правило, наблюдаются промежуточные состояния. По-видимому, целесообразно принимать 50% барьер для разделения этих двух минеральных видов, аналогично такому барьеру, принятому для составов изоморфных смесей. Так или иначе, упорядоченные или неупорядоченные кристаллические вещества одного состава принадлежат разным минеральным видам. Если же

процент упорядоченности определить достаточно точно не удастся (в области, близкой к 50%), то можно рекомендовать давать описание обоих вариантов и указывать соображения, по которым выбран тот или иной из них для отнесения соответствующего минерала в определенную категорию классификации. При этом надо иметь в виду, что в третьем случае ( $\text{Im} < \text{Si}$ ), учет или неучет атомов-имитаторов заведомо приводит к разным мотивам, и соответственно минеральный вид, описанный в том или ином варианте, окажется в разных местах классификации и получит разные десятичные символы.

### 2.1.5. Деление класса силикатов на подклассы и отряды

Как сказано выше, первое фундаментальное обобщение в кристаллохимии силикатов было сделано Ф.Махачки в 1928 г. Он предложил структуры силикатов делить на 4 раздела: нольмерные (островные), одномерные (линейные), двумерные (слоистые) и трехмерные (каркасные).

Эта идея была признана В.Л.Брэггом и успешно использована им и многими другими кристаллохимиками в 20-30 годах. Однако с тех пор накопилось большое количество новых структур силикатов, и потребовалось более подробное их деление.

В 1984 г. я предложил делить силикаты на 9 подклассов [8]: 1. Островные некольцевые. 2. Островные кольцевые. 3. Цепочечные. 4. Ленточные. 5. Трубочатые. 6. Слоистые одноэтажные. 7. Слоистые двухэтажные. 8. Слоистые трехэтажные. 9. Каркасные.

На рис. 3, построенном по последним данным (до 1996 г.), приведены эти подклассы и деление их на отряды, определяющиеся отношениями Si:O. Для каркасных силикатов принципы их деления на отряды несколько отличаются от предыдущих восьми подклассов, о чем подробно будет сказано в разделе 2.10.

Если стремиться к совершенно полному охвату всех силикатов, то придется отвести место для тех из них, для которых координационное число кремния равно 6. Для этого подкласса можно использовать десятый индекс 6142/0. Среди минералов известен только один — таумасит —  $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Кроме того, при высоких давлениях получены соответствующие модификации для нескольких искусственных силикатов:  $\text{MgSiO}_3$ ,  $\text{ScSi}_2\text{O}_7$  и др. Этот подкласс в дальнейшей классификации не нуждается из-за малочисленности объектов.

Деление отрядов на подотряды осуществляется по таблице Периодической системы элементов.

Как было сказано выше, для развитой нами классификации мы

# Состав радикала

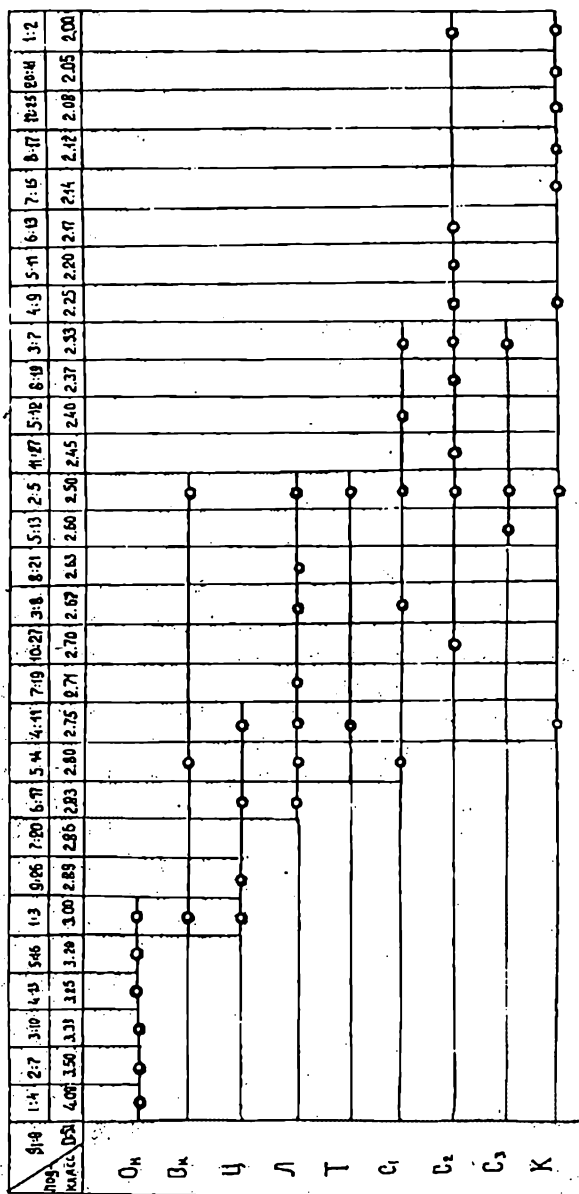


Рис. 3. Подклассы и отряды в классе силикатов

использовали идею Берцелиуса о том, что в основе должны лежать неметаллические элементы. Учитывая Z-границу в ПСХЭ можно констатировать, что неметаллы, которые встречаются в составе минералов, находятся в пяти подгруппах: с III-b по VII-b.

Соответственно, в тех случаях, когда кроме кремне-кислородного мотива в составе силикатов находятся дополнительные неметаллы, то такие составы индексируются цифрами с 3 до 7 в третьем индексе десятичного символа, символизирующего подотряд.

Кроме того, цифрой 1 выделяются подотряды, в составе которых нет дополнительных неметаллических элементов. Цифра 2 пропускается, так как она не используется при индексации подотрядов. Итак, максимальное число подотрядов в отряде будет шесть.

При определении подотрядов необходимо учитывать те редкие случаи, когда некоторые неметаллические элементы, стоящие рядом с Z-границей в ПСХЭ (например, В или Sn), не образуют в химическом составе минералов отдельных анионных группировок с другими неметаллами или не участвует в образовании общих Si-O мотивов структуры. При этом Sn имеет координационное число 6 или выше. Т.е. другими словами, они размещаются с металлическими атомами в катионной части формулы, где их в этом случае и необходимо писать и учитывать при классификации. Например, пудретит  $KNa_2B_3[Si_{12}O_{30}]$  или бреннокит  $KLi_3Sn_2[Si_{12}O_{30}]$ . Еще реже в аналогичном положении оказываются молекулы воды, как, например, в армените  $BaCa_2Al_3(H_2O)_2[Si_9Al_3O_{30}]$ .

Подотряды делятся на семейства. Таксон "семейство" имеет по сравнению с другими таксонами более широкое применение. Этим таксоном объединяются минеральные виды по сходству их состава. Прежде всего, он объединяет объекты с одинаковым типом химических формул, независимо от структуры минералов. Кроме того, он применяется и в более широком значении. Так, в ряде подотрядов этот таксон объединяет все минеральные виды-гидраты или все минеральные виды, имеющие в своем составе группы  $UO_2$ .

В орто- и олигосиликатах семейства выделяются по отношению числа основного радикала  $[Si_mO_n]$  к числу дополнительных анионов. В цепочечных силикатах в семейства объединяют минералы по звенности (по числу тетраэдров, повторяющихся в цепи), в кольцевых — по типу колец. Во всех подобных случаях в следующем таксоне — роде — приходится сразу выделить группы по структурному типу, т.е. минуя группировку по сходству формул.

В заключение специально о гидратах. Они могут объединяться в один из трех таксонов: подотряд, семейство, род — в зависимости от их числа или более рационального объединения минеральных

видов в предыдущих или последующих таксонах. Выделять им один определенный таксон нецелесообразно. Другое дело, что для объединения гидратов на любых уровнях за ними сохраняют индекс символа — ноль. Это позволит читателю яснее представлять себе смысл десятичного символа минеральных видов.

## 2.2. Подкласс островных некольцевых силикатов 6142/1

### 2.2.1. Отряд ортосиликатов — /11

Этот отряд делится на 6 подотрядов.

Ортосиликаты являются первым отрядом подкласса островных некольцевых силикатов. Химическая формула минералов этого отряда обязательно содержит анион  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  (рис. 4). Редко в ортосиликатах вместо одного из атомов кислорода присутствует (ОН) (см. афвиллит). Как было сказано выше, такие минералы рассматриваются совместно с соответствующими чисто кремнекислородными; но только минералы, содержащие  $[\text{SiO}_3(\text{OH})]$ -ионы, помещаются последними в соответствующих разделах.

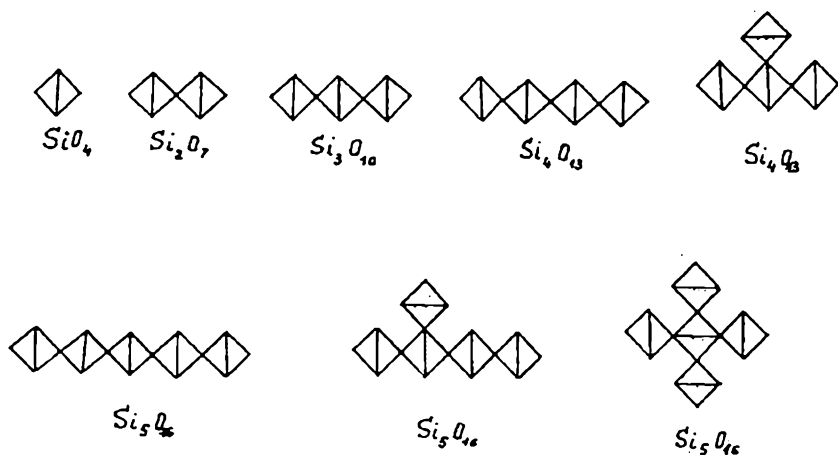


Рис. 4. Строение орто- и олигосиликатов

Кроме основного аниона, в формуле ортосиликатов могут присутствовать другие дополнительные анионы, в частности и кислород, однако суммарное число каждого из них (как говорилось в 2.1.) не должно превышать числа атомов кислорода в  $[\text{SiO}_4]$ -анионах. Если число таких дополнительных анионов равно числу ортосиликатных атомов кислорода, то отнесение таких минералов к определенному таксону делается по предпочитаемым\* элементам. Кроме дополни-

\* Термин "предпочитаемый" см. в разделе 1.3.



тельных анионов, в силикатах могут быть и молекулы воды. Индекс десятичного символа для таких гидратов мы предлагаем считать десятым, т.е. последним, который обозначается нулем. Это связано с тем, что если в данном разделе появится новый минерал без  $H_2O$ , то ему будет приспан индекс символа, отличный от нуля, и не придется менять символы у части минералов, ранее попавших в соответствующий раздел данного таксона.

Деление отряда ортосиликатов на подотряды делается по дополнительным неметаллам, согласно подгруппам в ПСХЭ [15]. Таким образом, подотрядов в этом отряде будет 6: /111 — без дополнительных анионов, /113 — с дополнительными — предпочитаемыми неметаллами из III-b подгруппы, /114 — из IV-b подгруппы, /115, /116, /117 соответственно для дополнительных анионов из V-b, VI-b и VII-b подгрупп. Номера индексов символов совпадают с номерами подгрупп в Периодической системе. Символ /110 остается для кристаллогидратов. Символ /112 пропускается, т.к. в подгруппе II-b нет неметаллов.

Подотряды делятся на семейства, семейства на роды, роды на виды. Объединение в семейства обычно производится на основе одинакового типа химических формул или по другим существенным химическим признакам: например, по наличию у всех минералов данного семейства группировок  $UO_2$ . Аналогичный признак может фигурировать и в других таксонах (например для родов). Гидраты тоже могут объединяться в одно семейство и в один род. Роды — это, как правило, структурные типы, а понятие "минеральный вид" было подробно рассмотрено в разделе 2.1.2.

### 2.2.1.1. Подотряд /111. Минералы без дополнительных анионов

Этот подотряд делится на 6 семейств. Первые 5 определяются отношением числа атомов металлов к числу анионов  $[SiO_4]$ , а последние объединяют гидраты.

Семейство /1111 характеризуется отношением 1:1, т.е.  $A[SiO_4]$ , где А — металл. Минеральные виды этого семейства собраны в табл. 7.

Таблица 7. Семейство /1111

Род	Вид	Название и формула
/1111	/11111	циркон — $Zr[SiO_4]$
	/11112	гафнон — $(Hf,Zr)[SiO_4]$
	/11113	торит — $Th[SiO_4]$
/1112	/11121	торогуммит — $Th[(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}]$
	/11122	коффинит — $U[(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}]$
/1113	/11131	хаттонит — $Th[SiO_4]$

Первые три минеральных вида кристаллизуются в структурном типе циркона, который принадлежит к тетрагональной сингонии. Четвертый и пятый имеют аналогичную структуру, но часть  $\text{SiO}_4$ -тетраэдров замещается четырьмя ОН-группами. Если бы это было обычное изоморфное замещение (например, как то имеет место в других случаях — для оливина, амфиболов и т.п.), где вещества предельных составов имеют одинаковую структуру и принадлежат к одному роду, и где возможно применять 50% предел составов для разделения видов (санкционировано IMA для амфиболов), то для 4-го и 5-го видов не потребовалось бы другого символа рода. Однако в рассматриваемом случае второй предельный состав уже не содержал бы кремния, и такой минерал относился бы к другому классу, т.е. в общей систематике приводил бы к разрыву групп очень сходных минералов. Кроме того, надо отметить, что минералов второго предельного состава в природе не обнаружено. Именно по этой причине, чтобы не создавать в классификации подобных ситуаций, нами предложено в данном случае ограничиваться выделением для этих минералов отдельного рода.

Второй вариант рассуждения: отнесение торогуммита к разновидности торита; в этом случае можно было бы вообще не считать его новым минеральным видом. По аналогичным соображениям этот вариант нами тоже отвергается.

Третий род в таблице 7 относится к хаттониту, который просто является моноклинной модификацией  $\text{Th}[\text{SiO}_4]$ .

Семейство /1112 характеризуется отношением 2:1, т.е.  $\text{AB}[\text{SiO}_4]$ , где А и В одинаковые или разные металлические элементы.

В табл. 8 собраны минеральные виды этого семейства. Оно делится на 9 родов.

Последовательность размещения родов в семействе или видов в роде не установлена в минералогии. Поэтому в этом вопросе существует полный произвол. Чтобы избежать этого, хотелось бы в будущем выработать определенную систему, желательно — международную.

Первые пять родов принадлежат к ромбической сингонии. Из них первые два кристаллизуются в очень близких структурах одной пр. гр.  $D_{2h}^{16} = Pnma$ . В этом структурном типе атомы двух металлов расположены в разных правильных системах точек. В роде /11121 в обоих положениях расположены или одинаковые металлы или разные; в последнем случае они распределены статистически по обоим этим позициям. В роде же /11122 разные металлы обязательно занимают разные правильные системы точек.

Таблица 8. Семейство /1112

Род	Вид	Название и формула
/11121	/111211	форстерит — $Mg_2[SiO_4]$
	/111212	фаялит — $Fe_2[SiO_4]$
	/111213	кальциооливин — $Ca_2[SiO_4]$
	/111214	тефроит — $Mn_2[SiO_4]$
	/111215	кнебелит — $(Mn,Fe)_2[SiO_4]$
/11122	/111216	либенбергит — $(Ni,Mg)[SiO_4]$
	/111221	монтичеллит — $CaMg[SiO_4]$
	/111222	глаукохроит — $CaMn[SiO_4]$
	/111223	кирштейнит — $CaFe[SiO_4]$
/11123	/111231	бредигит — $Ca_2[SiO_4]$
/11124	/111241	ларсенит — $PbZn[SiO_4]$
/11125	/111251	$\beta$ -уэдслиит — $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$
/11126	/111261	ларнит — $Ca_2[SiO_4]$
/11127	/111271	эсперит — $(Ca,Pb)Zn[SiO_4]$
/11128	/111281	эвкриптит — $LiAl[SiO_4]$
	/111282	фенакит — $Be_2[SiO_4]$
	/111283	виллемит — $Zn_2[SiO_4]$
/11129	/111291	рингвудит — $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$
/11120	/111201	мервинит — $Ca_3Mg[SiO_4]_2$

Обычно в курсах минералогии минеральные виды, перечисленные в начале таблицы, относятся к одной группе, называемой группой оливина. Под названием "оливин" давно фигурировал в литературе минерал состава  $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$ . После предложения считать минеральными видами только конечные составы изоморфных смесей (в данном случае форстерит и фаялит) это название приходится отбросить. Роды /11123, /11124 и /11125 принадлежат тоже к ромбической сингонии, но отличаются от предыдущих по симметрии. У бредигита, который является второй модификацией кальциооливина, пр. гр.  $D_{2h}^{12} = Pnnt$ , у ларсенита —  $C_{2v}^2 = Pna2_1$ , а у уэдслиита —  $D_{2h}^{28} = Imma$ . В моноклинной сингонии кристаллизуются ларнит и эсперит. Их структурные типы резко отличаются друг от друга константами решеток. В тригональном роде /11128 (структурный тип фенакита) кристаллизуется 3 минерала. В литературе фигурирует еще один минерал, который можно было бы отнести к этому ряду, — синсаоит  $(Zn,Co)_2[SiO_4]$ , но он является разновидностью виллемита. Последний род /11129, к которому принадлежит рингвудит, относится к кубической сингонии, структурному типу шпинели. Все ромбические структуры, упомянутые выше, можно рассматривать

как различные деформации, искажающие структуру шпинели.

Семейства с отношением  $Me:[SiO_4] = 3:1, 3:2, 5:3$ .

Семейства /1113 =  $ABC[SiO_4]$  и /1114 =  $ABC[SiO_4]_2$  имеют по одному минеральному виду: к роду /11131 и виду /111311 принадлежит либерит —  $Li_2Be[SiO_4]$ , а к роду /11141 и виду /111411 — лайхунит —  $Fe^{2+}Fe^{3+}[SiO_4]_2$ .

Семейство /1115, характеризующееся составом  $Me_5[SiO_4]_3$ , напротив, богато минеральными видами. Все они кристаллизуются в структурном типе граната (см. табл. 9).

Таблица 9. Семейство /1115.

Род	Вид	Название и формула
/11151	/111511	пироп — $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$
	/111512	кноррингит — $Mg_3Cr_2[SiO_4]_3$
	/111513	меджорит — $Mg_3(Fe, Al, Si)_2[SiO_4]_3$
	/111514	гроссуляр — $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$
	/111515	голдманит — $Ca_3V_2[SiO_4]_3$
	/111516	уваровит — $Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$
	/111517	андрадит — $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$
	/111518	спессартин — $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$
	/111519	яматоит — $Mn_3V_2[SiO_4]_3$
	/111510	альмандин — $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$
/11152	/111521	гидрогроссуляр — $CaAl_2[(SiO_4)_3(OH)_4]_3$
	/111522	анритермьерит — $Ca_3(Mn, Al)_2[(SiO_4)_3(OH)_4]_3$
	/111523	гидрограндит — $(Ca, Mg)_3(Fe, Al)_2[(SiO_4)_3(OH)_4]_3$

Соображения, по которым гидрогранаты выделены в отдельный род, те же самые, что были изложены выше при описании семейства /1111. В минералогической литературе фигурируют еще в качестве самостоятельных минералов: шорломит, который является разновидностью гроссуляра с небольшой изоморфной примесью циркона, а также гибшит и катоит, являющиеся разновидностями гидрогроссуляра, у которого часть алюминия изоморфно заменена железом.

Семейство /1110. Гидраты ортосиликатов, не содержащих дополнительных анионов.

Это семейство имеет 2 рода: /11101, в котором минеральные виды имеют группу  $UO_2$  и /11102 — без этой группы. Минеральные виды этого семейства собраны в табл. 10.

Бетауранофан является второй модификацией уранофана, поэтому классифицируется, по крайней мере, как другой вид, поскольку таксон, "род" использован для такого важного признака как объединение видов, содержащих (и не содержащих) группу ( $UO_2$ ).

Таблица 10. Семейство /1110.

Род	Вид	Название и формула
/11101	/111011	казолит — $Pb(UO_2)[SiO_4] \cdot H_2O$
	/111012	соиддит — $(UO_2)_2[SiO_4] \cdot 2H_2O$
	/111013	склодовскит — $Mg(H_3O)_2(UO_2)_2[SiO_4]_2 \cdot 3H_2O$
	/111014	уранофан — $Ca(H_3O)_2(UO_2)_2[SiO_4]_2 \cdot 3H_2O$
	/111015	бетауранофан — $Ca(H_3O)_2(UO_2)_2[SiO_4]_2 \cdot 3H_2O$
	/111016	урсинит — $(Co, Mg, Ni)(UO_2)[SiO_4]_2 \cdot 3H_2O$
	/111017	купросклодовскит — $H_2Cu(UO_2)_2[SiO_4]_2 \cdot 5H_2O$
	/111018	свамбоит — $H_6U^{6+}(UO_2)[SiO_4]_6 \cdot 30H_2O$
	/111019	натриевый болтвудит — $Na(H_3O)(UO_2)[SiO_4]$
	/111010	болтвудит — $K(H_3O)(UO_2)[SiO_4]$
/11102	/111021	гиллебраидит — $Ca_2[SiO_4] \cdot H_2O$
/11103	/111031	клиноэдрит — $CaZn[SiO_4] \cdot H_2O$
	/111032	стрингхамит — $CaCu[SiO_4] \cdot 2H_2O$
	/111033	афвиллит — $Ca_3[SiO_3(OH)]_2 \cdot 2H_2O$

### 2.2.1.2. Подотряд /113. Ортосиликаты, содержащие бор в качестве предпочитаемого дополнительного неметалла.

В отличие от предыдущего подотряда, этот подотряд очень беден минеральными видами. Особенностью этого подотряда является прежде всего то, что бор является единственным неметаллом в III-b подгруппе ПСХЭ. Вторая его особенность заключается в том, что бор часто в структурах кристаллов имитирует кремний. Он с кислородом часто образует координационное число четыре. Именно эта особенность бора приводит к тому, что вместе с кремнием он образует смешанные радикалы, что в свою очередь приводит к тому, что часть из таких соединений (минералов) одни авторы считают силикатами, а другие боратами. Чтобы избежать этой путаницы, нужно более четко оговорить критерии, по которым можно провести резкие границы в классификации.

Прежде всего надо учитывать относительное число атомов Si и B в составе минерала (см. выше, раздел 2.1.4.). Равенство в формуле числа атомов Si и B вызывает основные трудности классификации. Здесь можно было бы просто все подобные соединения считать боратами, поскольку бор в ряду предпочтения химических элементов стоит левее кремния, т.е. предпочитается ему. Однако и в этом случае ( $Si = B$ ) нужно учитывать некоторые важнейшие особенности атомных структур таких веществ.

Атомы бора, как известно, в кристаллических структурах могут иметь координационные числа не только 4, но еще и 3. В последнем случае в общей кислородной постройке число атомов кислорода,

связанных с Si, больше, чем с бором, поэтому относить такие соединения к классу боратов нет оснований. Из сказанного выше ясно, как важно для классификации точно знать детали атомных структур. К сожалению, далеко не все рентгеновские работы по определению структур боросиликатов, сложных по химическому составу, сделаны на соответствующем уровне, что приводит к тому, что разные авторы для одного и того же минерала принимают разные формулы. Например, для харкерита М.Флейшер [56] (с. 162) дает формулу  $\text{Ca}_{24}\text{Mg}_8\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_8(\text{BO}_3)_6(\text{CO}_3)_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а Г. Штрунц [102] (с. 394) —  $\text{Ca}_{48}\text{Mg}_{16}\text{Al}_3[\text{SiO}_4]_{12}(\text{BO}_3)_{15}(\text{CO}_3)_{18}\text{Cl}_2(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , А.С. Поваренных [41] (с. 313) —  $\text{Ca}_4\text{Mg}[\text{SiO}_4](\text{BO}_3)\text{CO}_3\text{OH}$ , а в "Минералогической энциклопедии" [39] (с. 467), для него дается формула  $\text{Ca}_{24}\text{Mg}_8[\text{AlSi}_4(\text{O},\text{OH})_{16}]_2(\text{BO}_3)_8(\text{H}_2\text{O},\text{Cl})$ . Правильно классифицировать минеральные виды, о которых нет необходимой информации, практически невозможно, поэтому мы не будем их помещать в итоговые таблицы. В составе всех минеральных видов, содержащих бор в качестве дополнительного предпочитаемого неметалла, собранных в табл. 11, преобладает кремний. Кроме того, бор во всех этих соединениях имеет к.ч. 3, поэтому принадлежность их к классу силикатов не вызывает сомнений.

Таблица 11. Подотряд /113

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/1131	/11311	113111	таджикит — $\text{Ce}(\text{Ca},\text{TR})_4(\text{Y},\text{TR})_2(\text{Ti},\text{Fe},\text{Al})[\text{SiO}_4]_4(\text{BO}_3)_2(\text{O},\text{OH})_2$
/1132	/11321	/113211	дюмортьерит — $(\text{Al},\text{Fe})_7[\text{SiO}_4]_3(\text{BO}_3)\text{O}_3$
		/113212	холтит — $\text{Al}_6(\text{Ta},\text{Sb})[(\text{Si},\text{As})\text{O}_4]_3(\text{BO}_3)(\text{O},\text{OH})_3$
/1133	/11331	/113311	серендибит — $(\text{Ca},\text{Mg})_5\text{Al}_5[\text{SiO}_4]_3(\text{BO}_3)\text{O}_5$
/1134	/11341	/113411	меланоцерит — $\text{Na}_4\text{Ca}_{16}(\text{Y},\text{La})_3(\text{Zr},\text{Ge})_6[\text{SiO}_4]_{12}(\text{BO}_3)_3\text{F}_{12}$
/1135	/11351	/113511	призматин — $\text{Mg}_5\text{Al}_8[\text{SiO}_4]_5(\text{BO}_3)\text{O}_5(\text{OH})$
/1137	/11371	/113711	грандидьерит — $\text{MgAl}_3[\text{SiO}_4](\text{BO}_3)\text{O}_2$

Как было сказано выше, основной принцип деления подотряда на семейства заключается в том, что минералы, принадлежащие к одному семейству, имеют одинаковый тип химической формулы: В данном подотряде таковыми являются только второй и третий минералы в табл. 11. Они и кристаллизуются в одинаковом структурном типе, поэтому и род у них будет общим. Химическая формула холтита требует уточнения, отмечается дефицит в позициях кремния и бора [40]. Остальные минералы принадлежат к разным семействам, родам и видам.

Трудности отнесения боросиликатов к классу силикатов или боратов начинаются тогда, когда в химической формуле минерала

число атомов Si и В одинаково, и оба элемента имеют к.ч. 4. К сожалению, надежно определенных структур этого типа до сих пор среди минералов, по-видимому, нет. Можно только предположить, что такое соотношение имеет место в пейните —  $\text{Ca}_2\text{Al}_{10}[\text{SiO}_4]_5(\text{BO}_3\text{OH})\text{O}_{15}$ . Трактовать его структуру согласно формуле Г.Штрунца [103] (с. 384), по-видимому, можно как изоморфное замещение ( $\text{SiO}_4$ ) и ( $\text{BO}_3\text{OH}$ ). И поскольку ( $\text{SiO}_4$ ) стоит на первом месте (как пишется преобладающий элемент в одноатомных изоморфных смесях), постольку можно считать, что ( $\text{SiO}_4$ ) преобладает над ( $\text{BO}_3\text{OH}$ ). Таким образом, ее можно трактовать как  $\text{Si} > \text{B}$  и поэтому считать пейнит силикатом. Однако это не так, поскольку число свободных атомов кислорода значительно преобладает над числом атомов кислорода в анионах [ $\text{SiO}_4$ ]. Поэтому минерал следует отнести к классу оксидов. Грандидьерит является силикатом, поскольку бор имеет к.ч. 3. С другой стороны, датолит (и сходные с ним по структуре минералы) являются боратами, хотя многие авторы относят их к силикатам и пишут их формулы, выделяя [ $\text{SiO}_4$ ]. По справочнику "Минералы" [40], например, формула датолита  $\text{CaB}[\text{SiO}_4](\text{OH})$ . В действительности Si и B в их структурах образуют сетки состава  $\text{T}_2\text{X}_5$  и формулу логичнее писать  $\text{Ca}[\text{SiBO}_4(\text{OH})]$ . В сетке имеются четырехчленные и восьмичленные кольца. Как Si, так и B занимают близкое к центру место в анионных тетраэдрах, при этом три атома O каждого тетраэдра являются общими. Четвертая вершина тетраэдра не является общей: у Si она занята атомом кислорода, у B — гидроксильной группой.

Поскольку бор стоит в третьей подгруппе ПСХЭ, а Si — в четвертой, предпочтение должно отдаваться бору и датолит поэтому следует считать боратом, а не силикатом.

Минералы, в составе которых в анионах  $\text{BO}_3$  число атомов кислорода превышало бы число кислородных атомов в анионах  $\text{SiO}_4$ , пока, по-видимому, не найдены.

### 2.2.1.3. Подотряд /114. Ортосиликаты, содержащие в качестве дополнительных предпочитаемых анионов химические элементы IV-b подгруппы ПСХЭ.

В таблице 12 собраны минеральные виды, относящиеся к этому подотряду. Из всех неметаллических элементов IV-b подгруппы ПСХЭ (C, Si, Ge, Sn) только Ge не встречается в качестве предпочитаемого дополнительного элемента.

Кристаллические структуры у спёррита и параспёррита сходны между собой и принадлежат к одной группе моноклинной сингонии  $C_{2h}^2 - P2_1/a$ , но сильно отличаются по величине параметров  $c$  и  $\beta$ .

Таблица 12. Подотряд /114

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/1141	/11411	/114111	иморит — $(Y) - Y_2[SiO_4](CO_3)$
/1142	/11421	/114211	спёррит — $Ca_5[SiO_4]_2(CO_3)$
	/11422	/114221	парспёррит — $Ca_5[SiO_4]_2(CO_3)$
/1144	/11441	/114411	элленбергит — $(Mg,Ti,Zr)_2Mg_6(Al,Mg)_6[SiO_4]_6(Si,P)_2O_2(OH)_2(OH)_6$
/1145	/11451	/114511	везувиан — $Ca_{10}Al_4(Fe,Mg)_2[SiO_4]_5(Si_2O_7)_2(OH)_4$
/1147	/11471	/114711	малайит — $Ca[SiO_4]SnO^*$
/1148	/11481	/114811	сверигейт — $Na(Mg,Mn)Be_2[SiO_4]_3Sn(OH)$

\* ) Малайит имеет структурный тип титанита (см. табл. 14), но предпочтительным элементом у него является Sn.

Индексы 3, 6, 9 сохранены как резерв для не найденных минералов данного семейства.

У элленбергита ортосиликатные тетраэдры отличаются по составу: основные — чисто кремне-кислородные, присутствующие в доминирующем количестве, и дополнительные, у которых центр главным образом тоже занят кремнием, но содержит еще примесь фосфора. Кроме того, в этом тетраэдре только две вершины заняты атомами кислорода, а две другие — гидроксильными группами.

В структуре везувиана в основном мотиве, т.е. в ортосиликатных тетраэдрах, число кислородных атомов равно 20, а в дополнительном —  $(Si_2O_7)$  — только 14.

В некоторых сводках оба тундрита фигурируют в качестве гидратов в соответствующей группе ортосиликатов. Их формулы: тундрит-(Ce) —  $Na_3(Ce,La)_4(Ti,Nb)_2[SiO_4]_2(CO_3)_3O_4(OH) \cdot 2H_2O$ , тундрит-(Nd) —  $Na_3(Nd,La)_4(Ti,Nb)_2[SiO_4]_2(CO_3)_3O_4(OH) \cdot 2H_2O$ . Поскольку они гидраты, их семейство имеет индекс ноль, т.е. в этом случае им надо было бы приписать соответствующие индексы /114011 и /114012. Однако в их составе число атомов кислорода, связанных с углеродом (9), превышает число атомов кислорода, связанных с кремнием (8). Поэтому они относятся к классу карбонатов, а не силикатов.

#### 2.2.1.4. Подотряд /115. Ортосиликаты, содержащие в качестве дополнительных предпочитаемых анионов химические элементы V-b подгруппы системы.

В табл. 13 собраны минеральные виды этого подотряда. Из всех неметаллических элементов V-b подгруппы ПСХЭ (N,P,As,Bi) только N не встречается в качестве предпочитаемого дополнительного элемента.



Таблица 13. Подотряд /115

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/1151	/11511	/115111	харисонит — $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_6[\text{SiO}_4]_2(\text{PO}_4)_2$
/1152	/11521	/115211	коликит — $\text{Mn}_7\text{Zn}_4[\text{SiO}_4]_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_8$
/1153	/11531	/115311	крайслит — $\text{Fe}_2^{3+}\text{Mg}_4\text{Mn}_{44}\text{Zn}_6[\text{SiO}_4]_{12}(\text{AsO}_3)_4(\text{AsO}_4)_6 \cdot (\text{OH})_{36}$
/1154	/11541	/115411	иетманит — $(\text{Mn}, \text{Zn})_{16}[\text{SiO}_4]_4(\text{SbO}_4)_2\text{O}_5$
/1155	/11551	/115511	катоптрил — $(\text{Mn}, \text{Mg}, \text{Fe})_{14}(\text{Al}, \text{Fe})_4[\text{SiO}_4]_2(\text{SbO}_4)_2\text{O}_{13}$
/1150	/11501	/115011	сарьяркит — $(\text{Y}) - \text{Ca}(\text{Y}, \text{Th})\text{Al}_5[\text{SiO}_4]_2(\text{PO}_4, \text{SO}_4)_2(\text{OH})_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

К сожалению, структуры минералов этого подотряда очень плохо исследованы. Из шести минералов, названных в табл. 13, только у первого и второго они надежно определены. Если считать, что химические формулы всех этих минералов определены правильно, то каждый из них представляет особое семейство — род и вид. В справочнике "Минералы" [40] среди ортосиликатов рассматривается еще макговернит  $\text{Mn}_9\text{Mg}_4\text{Zn}_2[\text{SiO}_4]_2(\text{AsO}_4)_2\text{O}(\text{OH})_{14}$ . Однако в его составе преобладают ионы  $\text{OH}$ , так что он должен быть отнесен к классу гидроксидов.

#### 2.2.1.5. Подотряд /116. Ортосиликаты, содержащие в качестве дополнительных предпочитаемых анионов химические элементы VI-b подгруппы ПСХЭ.

Из всех неметаллических элементов VI группы (O, S, Se, Te) только первые два встречаются среди дополнительных элементов. Однако сера всегда находится одновременно с кислородом, а поскольку из этих элементов предпочитаемым является кислород, постольку во всех случаях он и является единственным предпочитаемым дополнительным элементом в этом подотряде.

Поскольку предлагаемая классификация основывается прежде всего на анионном составе химической формулы минералов, постольку следующим таксоном — семейством, будет здесь отношение числа  $[\text{SiO}_4]$ -радикалов к числу свободных (OH, F)-анионов. Совокупность кислородных атомов из  $\text{SiO}_4$ -групп и (OH, F), часто располагающихся по узлам плотнейшей упаковки, определяет основу атомной структуры. Катионы, как правило, размещаются в промежутках между шарами упаковки; их к.ч. равны 4 и 6 (или 8 в случаях искажения упаковки). Число катионов и их характерное расположение в структуре будет учитываться в следующем таксоне т.е. в роде (по структурным типам).

Итак, если в структуре минерала имеется  $n$  групп  $[\text{SiO}_4]$  и  $m$  — (OH, F), то принадлежность его к определенному семейству будет

определяться отношением  $n:m$ .

Всего в этом подотряде 7 семейств — 1:1, 1:3, 2:7 с дополнительными анионами О и ОН, а также 4:3, 3:5, и 7:8, содержащие кроме кислорода еще серу и элементы VI-b подгруппы. Последнее семейство — гидраты. В одно семейство отнесены минералы с простыми и кратными им отношениями — 1:1 и 2:2, а также 1:3 и 2:6.

В табл. 14 собраны минеральные виды, относящиеся к этому подотряду.

Таблица 14. Подотряд /116.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/1161	/11611	/116111	кианит — $Al_2[SiO_4]O$
	/11612	/116121	андалузит — $Al_2[SiO_4]O$
		/116122	канонаит — $Al_2[SiO_4]O$
	/11613	/116131	силлиманит — $Al_2[SiO_4]O$
	/11614	/116141	титанит — $CaTi[SiO_4]O$
		/116142	ванадомалаяит — $CaV[SiO_4]O$
	/11615	/116151	иодерит — $(Al,Mg)_3Al[SiO_4]_2O(OH)$
	/11616	/116161	натисит — $Na_2Ti[SiO_4]O$
	/11617	/116171	паранатисит — $Na_2Ti[SiO_4]O$
	/11618	/116181	минасжерайсит — $Y_2CaBe_2[SiO_4]_2O_2$
	/11619	/116191	гадолинит — $Y_2FeBe_2[SiO_4]_2O_2$
	/11610	/116101	ставролит — $Al_4Fe[SiO_4]_2O_2$
/1162	/11621	/116211	велинит — $Mn_3^{2+}(W,Mg,\square)[SiO_4](O,OH)_3$
		/116212	францисканит — $Mg_3^{2+}(V,\square_{1-x})[SiO_4](O,OH)_3$ $x=0,5$
		/116213	эребруит — $Mn_3^{2+}(Sb^{5+},Fe)[SiO_4](O,OH)_3$
	/11622	/116221	хлоритоид — $(Fe,Mg)_2Al_4[SiO_4]_2O_2(OH)_4$
/1163	/11631	/116311	оттрелит — $(Mn^{2+},Fe^{2+},Mg)_2Al_4[SiO_4]_2(OH)_4$
/1164	/11641	/116411	ифтисит — $(Y,TR)_4Ti[SiO_4]_2O(F,OH)_6$
/1165	/11651	/116511	джасмундит — $Ca_{11}[SiO_4]_4O_2S$
/1166	/11661	/116611	бичулит — $Ca_2Al_2[SiO_4]O_2(OH)_2$
/1167	/11671	/116711	гидроксилэллестадит — $Ca_{10}[SiO_4]_3(SO_4)_3(OH,Cl,F)_2$
		/116712	флюорэллестадит — $Ca_{10}[SiO_4]_3(SO_4)_3F_2$
		/116713	хлорэллестадит — $Ca_{10}[SiO_4]_3(SO_4)_3(Cl,OH,F)_2$
/1168	/11682	/116821	маттхеддлеит — $Pb_{20}[SiO_4]_7(SO_4)_4Cl_4$
/1160	/11601	/116011	комаровит — $(H,Ca)_2Nb_2[SiO_4]_2O_2(OH,F) \cdot H_2O$
	/11602	/116021	томбартит — $TR_2[SiO_4](O,OH) \cdot 4H_2O$
	/11603	/116031	ситинакит — $Na_2KTi_4[SiO_4]_2O_5(OH) \cdot 4H_2O$

Минасжерайсит кристаллизуется в структурном типе, очень близком к структурному типу хинганита (см. табл. 15), но в составе всех хинганитов по 4 металла, а у минасжерайсита — 5.

2.2.1.6. Подотряд /117. Ортосиликаты, содержащие в качестве дополнительных предпочитаемых анионов ионы гидроксила и неметаллические элементы VII-b группы ПСХЭ.

Из них в этом подотряде присутствует только фтор, который, как правило, изоморфно замещает (ОН).

Всего в этом подотряде 6 семейств — 1:1, 1:2, 1:4, 2:1, 2:7, 3:2. Седьмое семейство, как и во всех предыдущих подотрядах, отводится гидратам. Все минеральные виды этого подотряда собраны в табл. 15.

Таблица 15. Подотряд /117.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/1171	/11711	/117111	эвклаз — $AlBe[SiO_4]OH$
	/11712	/117121	вюаньтит — $CaAl[SiO_4]OH$
		/117122	моцартит — $CaMn^{3+}[SiO_4]OH$
	/11713	/117131	полдервартит — $Ca(Ca,Mn)[SiO_3OH](OH)$
	/11714	/117141	хондротит — $Mg_5[SiO_4]_2(F,OH)_2$
		/117142	райхардбраунсит — $Ca_5[SiO_4]_2(OH,F)_2$
		/117143	аллеганит — $Mn_5[SiO_4]_2(OH,F)_2$
	/11715	/117151	хинганит-(Y) — $(Y,Yb,Er)_2Be_2[SiO_4]_2(OH)_2$
		/117152	хинганит-(Ce) — $(Ce,Y,Nd)(Cl,Fe^{2+})Be_2[SiO_4]_2(O,OH)_2$
		/117153	хинганит-(Yb) — $(Yb,Y)_2Be_2[SiO_4]_2O_2$
/1172	/11721	/117211	топаз — $Al_2[SiO_4](F,OH)_2$
	/11722	/117221	норбергит — $Mg_3[SiO_4](F,OH)_2$
/1172	/11723	/117231	годжкинсонит — $MnZn_2[SiO_4](OH)_2$
	/11724	/117241	герстманнит — $(Mn,Mg)_2Zn[SiO_4](OH)_2$
/1173	/11731	/117311	шанталит — $CaAl_2[SiO_4](OH)_4$
/1174	/11741	117411	церит — $Ce[SiO_4]_2(OH)$
	/11742	/117421	тёрнебомит-(Ce,La) — $(Ce,La)_2Al[SiO_4]_2(OH)$
	/11743	/117431	клиногумит — $Mg_9[SiO_4]_4(OH,F)_2$
		/117442	сонолит — $Mg_9[SiO_4]_4(OH,F)_2$
	/11744	/117441	джерриджиббсит — $Mn_9[SiO_4]_4(OH)_2$
/1175	/11751	/117511	кулиокит — $Y_4Al[SiO_4]_2F_3(OH)_2$
/1176	/11761	/117611	гумит — $Mg_7[SiO_4]_3(F,OH)_2$
		/117612	мангангумит — $(Mn,Mg)[SiO_4]_3(F,OH)_2$
	/11762	/117621	сянхуалинит — $Li_2Ca_3Be_3[SiO_4]_3F_2$
/1170	/11701	/117011	клайрит — $(NH_4)_2(Fe^{3+},Mn^{3+})_3[SiO_4]_4(OH) \cdot 3H_2O$

Принцип выделения семейств в этом подотряде тот же, что и в предыдущем: объединены в одно семейство минералы с отношением  $p:m = 1:1$  и  $2:2$ , а также  $2:1$  и  $4:2$ .

Как сказано выше, структурный тип, в котором кристаллизуются

три хинганита, близок к структурному типу минасжерайсита. В минералогии уже обсуждался вопрос о том, что все минералы, содержащие редкие земли и иттрий, следует считать одним минеральным видом. Основанием этой точки зрения является тот факт, что они практически никогда не бывают однометалльными, т.е. всегда содержат несколько редкоземельных элементов; причем на одном месторождении обычны разные составы. В формуле хинганита, как сказано в [40] (4, вып. 3), сумма отрицательных зарядов превышает сумму положительных (даже если считать, что валентность церия равна 4), так что в преобладании кислорода над гидроксидом можно сомневаться. Но так или иначе, отрывать его от остальных, близких к нему по составу и по другим свойствам минералов, и соответственно, поместить в другую классификационную группу, невозможно.

### 2.2.2. Отряд /12. Диортосиликаты $M_n[Si_2O_7]X_p$ .

Этот отряд делится на 7 подотрядов.

Таблица 16. Деление отряда диортосиликатов ( $\dots[Si_2O_7]$ ) на подотряды.

Десятичный символ подотряда	Характеристика подотряда	Число семейств
/121	Без дополнительных анионов	5
/122	Такого подотряда нет	—
/123	Бор является предпочитаемым элементом	2
/124	Предпочитаются элементы IV-b подгруппы: C, Si, (Ge, Sn)	9
/125	Предпочитаются элементы V-b подгруппы: (N)P, (As, Sb, Bi)	4
/126	Предпочитаются элементы VI-b подгруппы: O, (S, Se, Te)	8
/127	Предпочитаются гидроксил и элементы VII- подгруппы F, Cl, (Br, I)	6

Примечание. Элементы, взятые в скобки, в составе минералов, относящихся к настоящему подразделению, отсутствуют.

#### 2.2.2.1. Подотряд /121. Минералы без дополнительных анионов.

Этот подотряд делится на 5 семейств.

Семейство /1211 характеризуется химической формулой  $A_2[Si_2O_7]$ , где оба металла могут принадлежать одному или разным химическим элементам. В каждом из занимаемых металлами мест в структуре могут, конечно, размещаться и изоморфные смеси. Все минеральные виды этих семейств относятся к одному роду — структурному типу тортвейтита, принадлежащему к моноклинной сингонии  $C2/m$  (см. табл. 17). В литературе фигурирует в качестве отдельного минерального вида еще кейвиит(Y)—(Y, Yb) $_2Si_2O_7$  [40]. Однако считать его минеральным видом нельзя. Преобладающим элементом в катионной части у него будет иттрий, как и у иттриалита,

поэтому его можно считать только разновидностью последнего. В таких случаях, вероятно, целесообразно условиться считать минеральным видом тот, который утверждён первым, а найденный после него считать его разновидностью.

Таблица 17. Подотряд /21.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/1211	/12111	/121111	тортвейтит — $\text{Sc}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$
		/121112	иттриалит — $(\text{Y,TR})_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$
		/121113	кейвинит-(Yb) — $(\text{Yb,Y})_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$
		/121114	гиттинсит — $\text{CaZr}[\text{Si}_2\text{O}_7]$
/1212	/12121	/121211	гюгианит — $\text{Ca}_2\text{Be}[\text{Si}_2\text{O}_7]$
		/121212	мелилит — $\text{CaNaAl}[\text{Si}_2\text{O}_7]$
		/121213	акерманит — $\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_7]$
		/121214	гардистонит — $\text{Ca}_2\text{Zn}[\text{Si}_2\text{O}_7]$
		/121215	геленит — $\text{Ca}_2\text{Al}[(\text{Si,Al})_2\text{O}_7]$
	/12122	/121221	барилит — $\text{BaBe}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$
	/12123	/121231	джеффриейт — $(\text{Ca,Na})_2(\text{Be,Al})[\text{Si}_2(\text{O,OH})_7]$
	/12124	/121241	хибинскит — $\text{K}_2\text{Zr}[\text{Si}_2\text{O}_7]$
	/12125	/121251	ранкинит — $\text{Ca}_3[\text{Si}_2\text{O}_7]$
	/12126	/121261	андремейерит — $\text{BaFe}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$
	/12127	/121271	паракелдышит — $\text{Na}_2\text{Zr}[\text{Si}_2\text{O}_7]$
/1213	/12131	/121311	эдгарбейлиит — $\text{Hg}_6[\text{Si}_2\text{O}_7]$
/1214	/12141	/121411	барисилит — $\text{Pb}_5\text{Mn}[\text{Si}_2\text{O}_7]$
/1210	/12101	/121011	джунитоит — $\text{Na}_2\text{Zr}[\text{Si}_2\text{O}_7] \cdot \text{H}_2\text{O}$
	/12102	/121021	келдышит — $\text{Na}_3\text{HZr}_2[\text{Si}_2\text{O}_7] \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Второе семейство /1212, имеющее формулу  $\text{A}_3[\text{Si}_2\text{O}_7]$ , богато минеральными видами, которые распределяются по семи родам: первый род /12121, часто называемый структурным типом акерманита, принадлежит к тетрагональной сингонии  $P4_2/m$ . К этому роду многие авторы относят мелифанит —  $(\text{Ca,Na})_2\text{Be}(\text{Si,Al})_2(\text{O,OH,F})_7$  в качестве самостоятельного минерального вида. Однако по составу его следовало бы считать разновидностью гюгианита. Кроме того, детальный рентгеновский анализ показал, что структура мелифанита слоистая, так что его надо отнести к другому подклассу. Аналогичный вопрос возникает при рассмотрении состава мелилита. Многие авторы пишут его формулы различно. Очевидно, что это связано с тем, что анализы природных минералов существенно отличаются друг от друга. Так, Ф.В.Чухров [40] приписывает ему формулу  $(\text{Ca,Na})_2(\text{Mg,Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_7]$ , но тогда он будет разновидностью акерманита. Другие авторы приписывают ему формулу, в которой Mg и Al меняются местами. Но в этом случае он автоматически стано-

вится разновидностью геленита.

Второй и третий роды семейства /1212 относятся к ромбической сингонии: пр. гр.  $Pn2_1a$  и  $C222_1$  соответственно; четвертый, пятый и шестой — к разным структурным типам моноклинной сингонии, последний (седьмой) — к триклинной. Третье и четвертое семейства имеют по одному минеральному виду. В структуре эдгарбейлиита (моноклинная сингония  $C2/m$ ) атомы ртути образуют пары  $(Hg_2)^{2+}$ , типичные для многих других соединений ртути. Структура барисилита принадлежит к тригональной сингонии, пр. гр.  $R3c$ .

Последнее семейство /1210, как всегда, оставлено гидратам: джунитоит кристаллизуется в ромбической сингонии, пр. гр.  $Ama2$ , а кельдышит — в триклинной  $P1$ .

#### 2.2.2.2. Подотряд /123. Минералы с дополнительным предпочитаемым атомом бора

Как и в предыдущем отряде — ортосиликатов, индекс /122 пропускается, так как во второй b-подгруппе Периодической системы неметаллов нет.

В подотряде /123 известно пять минералов, кристаллизующихся в двух семействах /1231 и /1232.

1) вердингит —  $(Mg,Fe)_2Al_{14}[Si_2O_7]_2(BO_3)_4O_{11}$  /123111.

Он является диортосиликатом, потому, что с Si связаны 14 атомов кислорода, а с бором — 12; свободных атомов кислорода (т.е. связанных с металлами) — 11. Комплексные анионы  $BO_3$  не имеют общих атомов кислорода с группой  $[Si_2O_7]$ . Кроме вердингита, к этому подотряду принадлежит группа минералов, кристаллизующихся в структурном типе аксинита /12321.

2) аксинит —  $Ca_2(Fe,Mg,Mn)Al_2[Si_2O_7]_2B^{IV}O(OH)$  /123211

3) магнезиоаксинит —  $Ca_2MgAl_2[Si_2O_7]_2B^{IV}O(OH)$  /123212

4) манганоаксинит —  $Ca_2MnAl_2[Si_2O_7]_2B^{IV}O(OH)$  /123213

5) тинценит —  $CaMn_2Al_2[Si_2O_7]_2B^{IV}O(OH)$  /123214

Кроме того, в литературе упоминаются севергинит и ферроаксинит. Первый является разновидностью манганоаксинита. Ему присписывается формула  $(Ca,Mn)_2MnAl_2[Si_2O_7]_2B^{IV}O(OH)$ . Второй —  $CaFe^{2+}Al_2[Si_2O_7]_2B^{IV}O(OH)$  разновидностью аксинита. Правильнее было бы именно его считать основным минеральным видом, а не аксинит.

В структурном типе аксинита тетраэдр бора имеет три вершины, общие с группами  $[Si_2O_7]$ , а его четвертая (свободная) вершина занята гидроксидом. Две  $[Si_2O_7]$ -группировки объединяются двумя тетраэдрическими атомами бора в шестичленное кольцо. К каждому атому бора присоединяется еще по группе  $[Si_2O_7]$ . Если рассматри-

вать всю получающуюся кислородную группировку  $[\text{Si}_8\text{B}_2\text{O}_{30}]$ , то она представляет собой открыто-разветвленное гексагональное кольцо. Такие структуры с изолированными кольцами часто рассматриваются некоторыми авторами вместе с другими чисто кремниевыми структурами с шестичленными кольцами, и минералы, кристаллизующиеся в структурном типе аксинита, считаются кольцевыми силикатами.

### 2.2.2.3. Подотряд /124. Минералы с дополнительными предпочитаемыми элементами из IV-b подгруппы ПСХЭ.

В этой подгруппе находятся следующие неметаллы: C, Si, (Ge, Sn), но среди природных силикатов, содержащих мотив  $[\text{Si}_2\text{O}_7]$ , только первые два элемента этой подгруппы встречаются в виде предпочитаемых.

Деление подотряда на семейства, прежде всего, осуществляется в той последовательности, в которой расположены предпочитаемые элементы в соответствующей подгруппе ПСХЭ. В этом подотряде единственным минеральным видом, где предпочитается углерод, будет тилленит, поэтому ему присваивается первое семейство /1241. Все остальные минеральные виды в качестве предпочитаемого вида имеют кремний, который в подавляющем большинстве случаев присутствует в виде ортокремниевого аниона. Последовательность расположения семейств в этой части подотряда можно рекомендовать по отношению числа  $[\text{Si}_2\text{O}_7]$  к числу  $(\text{SiO}_4)$  и к числу других дополнительных анионов. Так, например, для эпидота —  $\text{Ca}_2(\text{Fe,Al})_3[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$  эти отношения будут 1:1:2.

В таблице 18 выписаны все упомянутые отношения и отвечающие им символы для минеральных видов, содержащих  $(\text{SiO}_4)$  в качестве дополнительного предпочитаемого аниона.

Таблица 18. Семейства подотряда /124, содержащие дополнительные анионы  $(\text{SiO}_4)$ .

Отношения чисел различных анионов	Пример	Символ семейства
1:1:0	$\text{Pb}_9\text{Ca}_5\text{Mn}[\text{Si}_2\text{O}_7]_3(\text{SiO}_4)_3$ — ганомалит	/1242
1:1:1	$\text{Pb}_4\text{Zn}_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{SO}_4)$ — квейтит	/1243
2:2:2	$\text{Ca}_6\text{MnBe}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)_2(\text{OH})_2$ — гарстигит	/1244
1:1:2	$\text{Ca}_2(\text{Fe,Al})_3[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$ — эпидот	/1245
1:1:3	$\text{Mn}_2\text{Al}_3[\text{Si}_2\text{O}_7]_3(\text{SiO}_4)(\text{OH})_3$ — сурсассит	/1246
2:1:4	$\text{Ca}_{10}[\text{Si}_2\text{O}_7]_2(\text{SiO}_4)(\text{OH})_2\text{Cl}_2$ — рустумит	/1247
4:6:6	$\text{Ca}_{14}\text{Mn}_3\text{Zn}_2(\text{Zn,Be})_2\text{Be}_6[\text{Si}_2\text{O}_7]_4(\text{SiO}_4)_6(\text{OH,F})_6$ — самфоулерит	/1248

В последнее семейство подотряда /1240 внесены, как обычно, все

гидраты. Таким образом, всего в подотряде /124 имеется 9 семейств. В таблице 19 собраны все минеральные виды этого подотряда.

Таблица 19. Подотряд /124

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/1241	/12411	/124111	тиллеит — $\text{Ca}_5[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{CO}_3)_2$
/1242	/12421	/124211	ганомалит — $\text{Pb}_3\text{Ca}_5\text{Mn}[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)$
/1243	/12431	/124311	квейтит — $\text{Pb}_4\text{Zn}_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{SO}_4)$
/1244	/12441	/124411	гарстингит — $\text{Ca}_6\text{MnBe}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})_2$
/1245	/12451	/124511	цоизит — $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
	/12452	/124521	эпидот — $\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_3[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
		/124522	мухинит — $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{V}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
		/124523	стронциопъемонит — $\text{CaSr}(\text{Al}, \text{Mn}^{3+}, \text{Fe}^{3+})_3[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
		/124524	диссакисит-(Ce) — $\text{CaCeMgAl}_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
		/124525	ломбардит — $(\text{TR}, \text{Ca})_2(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{Al}, \text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
		/124526	клиноцоизит — $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
		/124527	долласеит-(Ce) — $\text{CaCeMg}_2\text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})\text{F}$
		/124528	христовит-(Ce) — $\text{CaCeMgMnAl}[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})\text{F}$
	/12453	/124531	рхотскит — $\text{Ca}_2(\text{Mn}^{2+}, \text{Mg})(\text{Mn}^{3+}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})_2$
	/12454	/124541	деллаит — $\text{Ca}_6[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})_2$
/1246	/12461	/124611	макфаллит — $\text{Ca}_2(\text{Mn}, \text{Al})_3[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})_3$
		/124612	сурсассит — $\text{Mn}_2^{2+}\text{Al}_3[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})_3$
/1247	/12471	/124711	рустумит — $\text{Ca}_{10}[\text{Si}_2\text{O}_7]_2(\text{SiO}_4)(\text{OH})_2\text{Cl}_2$
/1248	/12481	/124811	самфурлерит — $\text{Ca}_{14}\text{Mn}_3\text{Zn}_2(\text{Zn}, \text{Be})_2\text{Be}_6[\text{Si}_2\text{O}_7]_4(\text{SiO}_4)_6(\text{OH}, \text{F})_{16}$
/1240	/12401	/124011	пумпеллиит — $\text{Ca}_2(\text{Mn}^{2+}, \text{Mg})(\text{Al}, \text{Mn}^{3+}, \text{Fe}^{3+})_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$
		/124012	шуйскит — $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Al})(\text{Ca}, \text{Al})_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
		/124013	джулголдит — $\text{CaFe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SiO}_4)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	/12402	/124021	траскит — $\text{Ba}_{24}(\text{Ca}, \text{Sr})(\text{Ti}, \text{Fe}, \text{Mn})_{16}[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{Si}_{12}\text{O}_{36})(\text{O}, \text{OH})_{30}\text{Cl}_6 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$

Первое семейство представлено одним минеральным видом: тиллеит /124111. Остальные, как сказано выше, обязательно кроме  $[\text{Si}_2\text{O}_7]$  имеют еще  $(\text{SiO}_4)$  (или другой кремнекислородный анион). Семейства /1242, /1243 и /1244, также как и первое, имеют по одному представителю: ганомалит /124211, квейтит /124311 и гарстингит /124411. Следующее семейство /1245 включает 10 минеральных видов, относящихся к четырем разным родам: цоизит /124511 (ромб.), восемь минералов со структурой типа эпидота (род /12452, монокл.



синг.), охотскит /124531 (монокл., но структура отличается от эпидота) и деллаит /124541 (трикл.). Семейство /1246 включает два минерала, относящихся к одному роду — макфаллит и сурсассит; два следующих семейства, /1247 и /1248, имеют по одному представителю — рустумит /124711 и самфоулерит /124811.

В минералогической литературе фигурируют в качестве самостоятельных видов еще 4 минерала:

алланит —  $(Ca,Ce)_2(Al,Fe,Mn)_3[Si_2O_7](SiO_4)O(OH)$ , ханкокит —  $(Ca,Pb,Sr)_2(Al,Fe)_3[Si_2O_7](SiO_4)O(OH)$ , ортит —  $(Ca,TR)_2(Al,Fe^{2+}Fe^{3+})_3[Si_2O_7](SiO_4)O(OH)$  и пьемонтит —  $Ca_2(Al,Mn,Fe)_3[Si_2O_7](SiO_4)O(OH)$ . Все они являются разновидностями цоизита или клиноцоизита.

Семейство /1240 объединяет 4 гидрата. Структура последнего гидрата — траскита, наряду с группами  $[Si_2O_7]$  содержит двенадцатичленные кольца, и поэтому траскит часто рассматривается как кольцевой силикат. Между тем, общее число атомов кислорода в группах  $[Si_2O_7]$  (42) превышает число атомов кислорода в кольцах (36), что и позволяет относить этот минерал к отряду диортосиликатов.

#### 2.2.2.4. Подотряд /125. Минералы с дополнительными предпочитаемыми элементами из V-b подгруппы ПСХЭ.

В V-b подгруппу входят следующие элементы: (N)P, (As,Sb,Bi). Минеральных видов, в составе которых предпочитаемым элементом был бы азот, пока не найдено. Сохраним для них символ /1251. Минералов же, содержащих в качестве такого дополнительного элемента фосфор, известно 4. Все они содержат группу  $PO_4$  и еще O и F.

Первое семейство /1252, состоящее из одного рода, представлено двумя минералами:

- 1) ломоносовит —  $Na_8MnTi_3[Si_2O_7]_2(PO_4)_2O_2$  /125211
- 2) беталомоносовит —  $Na_5H_3MnTi[Si_2O_7](PO_4)_2O_2$  /125212

Этим минералам посвящено несколько работ различных авторов, при этом приведенные в них химические составы отличаются друг от друга. Написанные выше формулы заимствованы нами из справочника Штрунца [103], где имеется достаточно детальный анализ статей, относящихся к этому вопросу.

Два минерала принадлежат к разным семействам: /1253 и /1254 соответственно, и следовательно — к различным родам и видам:

- 3) борнеманит —  $Na_7BaTi_2Nb[Si_2O_7]_2(PO_4)O_3F$  /125311
- 4) вуоннемит —  $Na_{11}TiNb_2[Si_2O_7]_2(PO_4)_2O_3F$  /125411

По-видимому, к этому подотряду можно отнести единственный гидрат:

5) карнасуртит —  $(TR,Th)(Ti,Nb)(Al,Fe)[(Si,P)_2O_7](OH)_4 \cdot 3H_2O$  /125011, приписав его семейству соответственно символ /1250. К сожалению, структура его изучена недостаточно полно для окончательного вывода.

#### 2.2.2.5. Подотряд /126. Минералы с дополнительными предпочитаемыми элементами VI-b подгруппы ПСХЭ.

В качестве предпочитаемого элемента из (O,S,Se,Te) в минералах встречается только кислород; предлагается разбить минеральные виды этого подотряда на 7 семейств — по отношениям числа групп  $[Si_2O_7]$  к числу X в формуле минерала (табл. 20).

Таблица 20. Семейства подотряда /126.

Отношение $Si_2O_7 : X$	
1:1	/1261
1:2	/1262
2:4	/1263
4:8	/1264
1:3	/1265
2:8	/1266
2:12	/1267

Все минеральные виды этого отряда собраны в табл. 21.

Гидратов в этом подотряде не найдено. Накарениобсит и ринкит можно было, вероятно, отнести к одному роду из-за полной аналогии формул — (8 атомов металла, две группы  $[Si_2O_7]$  и 4 неметалла) и весьма близких структурных типов, принадлежащих к моноклинной сингонии, но к разным группам симметрии.

Род /12624 обычно называется структурным типом куспидина. Однако поскольку среди дополнительных анионов в группе куспидина присутствуют гидроксил и фтор, постольку сам куспидин и его аналоги попадают в следующий подотряд /127. Близкие параметры решетки имеет ниокалит, однако по данным [63], он отличается по формуле (по отношению  $Si_2O_7 : X$ ) и потому отнесен к другому семейству /1263. Близок к этому подотряду и минерал ферсманит, который в справочнике "Минералы" [40] был отнесен к ортосиликатам (3, вып. 1, стр. 336). Уточненная формула —  $Ca_5Na_3Tl_3Nb[Si_2O_7]O_8F_2$  [40] (4, вып. 3, стр. 157) показала, что его надо считать оксидом, а не силикатом, т.к. число атомов кислорода, не связанных с кремнием (8), превышает число 0, связанных с ним (7).

Таблица 21. Подотряд /126.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/1261	/12611	/126111	фресноит — $\text{Ba}_2\text{Ti}[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}$
/1262	/12621	/126211	ильваит (ромб.) — $\text{CaFe}_2^{2+}\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$
	/12622	/126221	ортоэриксонит — $\text{BaMn}_2^{2+}\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$
	/12623	/126231	бафертистит — $\text{BaFe}_2\text{Ti}[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}_2$
	/12624	/126241	ловенит — $(\text{Na},\text{Ca})_2(\text{Mn}^{2+},\text{Fe}^{2+})(\text{Zr},\text{Ti},\text{Nb})[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{O},\text{OH},\text{F})_2$
		/126242	вёлерит — $\text{NaCa}_2(\text{Zr},\text{Nb})[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{O},\text{OH},\text{F})_2$
	/12625	/126251	ильваит (монокл.) — $\text{CaFe}_2^{2+}\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$
	/12626	/126261	эриксонит — $\text{BaMn}_2^{2+}\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$
	/12627	/126271	багдатит — $\text{Ca}_3(\text{Zr},\text{Ti})[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}_2$
	/12628	/126281	сейдозерит — $(\text{Na},\text{Ca})_2(\text{Zr},\text{Ti},\text{Mn})_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{O},\text{F})_2$
	/12629	/126291	розенбушит — $(\text{CaNa})_3(\text{Zr},\text{Ti})[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{O},\text{F})_2$
/1263	/12631	/126311	лампрофилит — $(\text{Na},\text{K})_2(\text{Sr},\text{Ba})_2\text{Ti}_3[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_2(\text{OH},\text{F})_2$
		/126312	баритолампрофилит — $(\text{Na},\text{K})_2(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{Ti}_3[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_2(\text{OH},\text{F})_2$
	/12632	/126321	ниокалит — $\text{Ca}_7\text{Nb}[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_3\text{F}$
	/12633	/126331	янкаузит — $(\text{Na},\text{Ca})_3(\text{MnFe})_3(\text{Ti},\text{Zr},\text{Nb})_2[\text{Si}_2\text{O}_7]_2(\text{O},\text{OH},\text{F})_4$
	/12634	/126341	накарениобсит — $\text{NbNa}_3\text{Ca}_3\text{TR}[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{OF}_3$
	/12635	/126351	ринкит — $(\text{Ca}_2\text{Ce})_4\text{Na}(\text{Na},\text{Ca})_4\text{Ti}[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{F}_2(\text{O},\text{F})_2$
/1264	/12641	/126411	йортдалит I и II — $(\text{Na},\text{Ca})_4\text{Ca}_8\text{Zr}_2\text{M}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]_4\text{O}_3\text{F}_5$
/1265	/12651	/126511	гейтманит — $\text{Ba}(\text{Mn},\text{Fe})_2\text{Ti}[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH},\text{F})_2$
	/12652	/126521	иннэлит — $\text{Ba}_2\text{Na}(\text{Ti},\text{Mn})_3[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{SO}_4)(\text{O},\text{OH})\text{F}_2$
/1266	/12661	/126611	орточевкинит — $\text{Ce}_4(\text{Fe},\text{Ti})_3\text{Ti}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_8$
	/12662	/126621	перрьерит — $(\text{Ce},\text{Ca},\text{Th})_4(\text{Fe}^{3+},\text{Ti},\text{Sc})_3\text{Ti}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_8$
		/126622	чевкинит — $\text{Ce}_4(\text{Fe},\text{Ti})_3\text{Ti}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_8$
		/126623	стронцичевкинит — $\text{Sr}_2(\text{La},\text{Ce})_{1,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}^{2+}\text{Fe}_{0,5}^{3+}(\text{Ti},\text{Zr})_2[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_8$
/1267	/12671	/126711	бельковит — $\text{Ba}_3(\text{Nb},\text{Ti})_6[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}_{12}$

### 2.2.2.6. Подотряд /127. Минералы с дополнительным предпочитаемым гидроксидом и элементами из VII-b подгруппы ПСХЭ.

Кроме водорода (из гидроксильной группы) в качестве предпочитаемого элемента, в минералах бывают еще F и Cl. Чаще всего в этом подотряде встречаются минералы, в составе которых в качестве дополнительных к  $[\text{Si}_2\text{O}_7]$  анионов будут гидроксилы (см. табл.22).

Семейства в этом подотряде следующие (по отношениям  $\text{Si}_2\text{O}_7$  к

X): 1:1/1271; 2:2/1272; 1:2/1273; 1:6/1274; 3:2/1275; последнее семейство — гидраты /1270.

Таблица 22. Подотряд /127.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/1271	/12711	/127111	киллалаит — $\text{Ca}_{3+x}\text{H}_{1-x}[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{OH}$
/1272	/12721	/127211	роулантит — $\text{Y}_4\text{Fe}[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{F}_2$
/1273	/12731	/127311	молибдофиллит — $\text{Pb}_2\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{OH}_2$
	/12732	/127321	куспидин — $\text{Ca}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{F}, \text{OH})_2$
		/127322	бурпалит — $\text{Na}_2\text{CaSc}[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{F}_2$
	/12733	/127331	берграндит — $\text{Be}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2$
/1274	/12741	/127411	джаффеит — $\text{Ca}_6[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_6$
/1275	/12751	/127511	назонит — $\text{Pb}_6\text{Ca}_4[\text{Si}_2\text{O}_7]_3\text{Cl}_2$
/1270	/12701	/127011	хенномартинит — $\text{SrMn}_2^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
		/127012	лавсонит — $\text{CaAl}_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	/12702	/127021	гемиморфит — $\text{Zn}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	/12703	/127031	эпистолит — $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Nb}_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	/12704	/127041	мурманит — $\text{Na}_2\text{MnTi}_3[\text{Si}_2\text{O}_7]_2(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

### 2.2.3. Отряды олигосиликатов, содержащие в кремне-кислородном мотиве три и большее число атомов кремния.

Термин "олигосиликаты" не совсем совпадает с термином "олигосоединения" в химии. Под ним в минералогии подразумеваются все минералы подкласса островных некольцевых силикатов. Поэтому туда попадают и ортосиликаты, которые в химической терминологии являются скорее мономерами, а не олигосиликатами.

Здесь будут рассмотрены 4 отряда, заканчивающие подкласс олигосиликатов. Эти отряды: 1) 6142/13, содержащие радикалы  $[\text{Si}_3\text{O}_{10}]$  в виде отрезков кремнекислородных цепочек; 2) 6142/14 с аналогичными радикалами  $[\text{Si}_4\text{O}_{13}]$ ; 3) 6142/15 —  $[\text{Si}_5\text{O}_{16}]$ , содержащие отрезки цепочек или другие по форме некольцевые группы тетраэдров из  $[\text{SiO}_4]$ ; 4) 6142/10, которые представляют собою дефектные радикалы  $[\text{T}_4\text{O}_{12}]$ , состоящие из двух спаренных по ребру тетраэдров. В них  $\text{T}=\text{Si}+\square$ , а  $\text{X}=\text{O}$  или  $\text{OH}$ . Минералов во всех этих отрядах немного, поэтому все они собраны в одной табл. 23.

Таблица 23. Минеральные виды отрядов /13, /14, /15 и /10.

Подотряд	Семейство	Род	Вид	Название и формула
/131	/1311	/13111	/131111	розенханит — $\text{Ca}_3\{\text{Si}_3\text{O}_8(\text{OH})_2\}$
/134	/1342	/13421	/134211	килхоанит — $\text{Ca}_6\{\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{SiO}_4)\}$
	/1344	/13441	/134411	суринамит — $\text{Mg}_3\text{Al}_4\text{Be}\{\text{Si}_2\text{AlO}_{10}(\text{SiO}_4)\text{O}_4\}$
	/1345	/13451	/134511	корнерупин — $\text{Mg}_3\text{Al}_6\{\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}_3\}$
	/1340	/13401	/134011	арденнит — $\text{Mn}_5\text{Al}_5\{\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{SiO}_4)_2(\text{As},\text{VO}_4)\text{O}_2(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}\}$
/135	/1353	/13531	/135311	тирагаллоит — $\text{Mn}_4\{\text{Si}_3\text{O}_9(\text{OH})\}\text{AsO}_3$
/137	/1371	/13711	/137111	аминовит — $\text{Ca}_3\text{Be}\{\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2\}$
	/1372	/13721	/137211	ориентит — $\text{Ca}_2\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_2^{3+}\{\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_4\}$
	/1375	/13751	/137511	таленит — $\text{Y}_3\{\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{F}\}$
/130	/1301	/13011	/130111	трабзонит — $\text{Ca}_4\{\text{Si}_3\text{O}_{10}\} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	/1302	/13021	/130211	киноит — $\text{Ca}_2\text{Cu}_2\{\text{Si}_3\text{O}_{10}\} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
/147	/1471	/14711	/147111	акаторент — $\text{Mn}_9^{2+}\text{Al}_2\{\text{Si}_4\text{O}_{12}(\text{OH})_2\}(\text{OH})_6$
/140	/1401	/14011	/140111	руицит — $\text{Ca}_2\text{Mn}^{3+}\{\text{Si}_4\text{O}_{11}(\text{OH})_2\}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
/156	/1561	/15611	/156111	медаит — $\text{HMn}_6\text{V}\{\text{Si}_5\text{O}_{16}\}\text{O}_3$
/157	/1571	/15711	/157111	зунит — $\text{Al}_{13}\{\text{Si}_5\text{O}_{16}\}((\text{OH})_{15},\text{O}_4,\text{F}_3)\text{Cl}$
/101	/1011	/10111	/101111	вюнцпахкит — $(\text{Y},\text{TR})_4(\text{Al},\square)_4\{\text{TX}_{12}\}$
/104	/1041	/10411	/104111	риббеит — $\text{Mn}_5\{\text{Si},\square\}\text{O}_4(\text{OH})_2(\text{SiO}_4)$
	/1042	/10421	/104211	лейкофеницит — $\text{Mn}_7\{\text{Si},\square\}\text{O}_4(\text{OH})_2(\text{SiO}_4)_2$

### 2.2.3.1. Отряд /13.

Подотряды, как и для предыдущих отрядов, определяются наличием (или отсутствием) других анионов, у которых в качестве предпочитаемого элемента будут неметаллы по подгруппам ПСХЭ.

Первый подотряд /134 составляют минералы, содержащие в качестве предпочитаемых элементы IV-b подгруппы ПСХЭ. Элементы предыдущих подгрупп в качестве предпочитаемых в этом отряде отсутствуют. В этом подотряде нет минерала, в котором предпочитаемым элементом был бы углерод, поэтому семейства мы начинаем нумеровать с цифры 2: килхоанит /134211; суринамит /134411, в структуре которого тетраэдры Be объединяют обе кремнекислородные группировки в цепочку; корнерупин /134511; арденнит /134011. Подотряд /135 содержит один минерал — тирагаллоит, его семейству целесообразно приписать символ /1353, т.к. минералов, в составе которых в качестве предпочитаемых элементов фигурируют N и P, нет.

Подотряда /136 в этом отряде нет.

В третьем подотряде /137 предпочитается гидроксил и элементы VII-b подгруппы: аминовит /137111, ориентит /137211, таленит /137511.

В качестве последнего подотряда /130, как всегда выделяются гидраты: трабзонит /130111 и киноит /130211.

### 2.2.3.2. Отряд /14.

В отряде /14 известны два минерала: акатореит /147111 и руицит /140111.

Каждый из них представляет подотряд, семейство, род и вид. В отряде с четырьмя тетраэдрами возможны два изомера: первый, когда все 4 тетраэдра представляют собою отрезок цепи, и второй, когда к среднему из трех тетраэдров присоединен четвертый. Правда, минерала такого строения не найдено.

### 2.2.3.3. Отряд /15.

К этому отряду тоже можно отнести два минерала: медаит /1561, и зуниит /1571.

В отряде с пятью тетраэдрами возможны три изомера. Два из них аналогичны изомерам в отряде с четырьмя тетраэдрами, а третий — когда к среднему из трех тетраэдров присоединены еще 2 тетраэдра. В результате получается центральный тетраэдр, у которого ко всем четырем вершинам присоединены дополнительные ( $\text{SiO}_4$ )-тетраэдры. Этот случай имеет место в структуре зуниита. В медаите же все пять тетраэдров являются фрагментами цепочки [17] (см. рис. 4).

Формулу зуниита разные авторы пишут различно, но большинство из них отношение  $\text{OH}$  и  $\text{F}$  обычно пишут через запятую —  $(\text{OH},\text{F})_{18}$ , а кислород и хлор рассматривают отдельно —  $\text{O}_4\text{Cl}$  (см., например, Ф.Либау [37]:  $\text{Al}_{13}\text{Si}_5\text{O}_{16}(\text{OH},\text{F})_{18}\text{O}_4\text{Cl}$ ). Однако поскольку написание химической формулы должно максимально отражать строение вещества, постольку мы написали ее несколько иначе по следующим соображениям. В структуре зуниита ионы хлора действительно занимают особое положение (в узлах кубической гранецентрированной ячейки), а остальные отрицательные ионы ( $\text{OH},\text{F}$  и  $\text{O}$ ) образуют с двенадцатью  $\text{Al}$  комплекс, состоящий из троек октаэдров, соединенных между собой по ребру и расположенных по тетраэдру вокруг тринадцатого (тетраэдрического) атома  $\text{Al}$ ; при этом у каждого октаэдра ( $\text{AlX}_6$ ) один из ионов  $\text{X}$  является общим для двух таких октаэдров из разных троек. Эти комплексы чередуются в структуре с комплексами  $[\text{Si}_5\text{O}_{16}]$  так же, как чередуются атомы цинка и серы в структуре сфалерита. Чтобы подчеркнуть то, что в комплексе из 12 октаэдров  $\text{OH}$ ,  $\text{O}$  и  $\text{F}$  статистически замещают друг друга, эти анионы в формуле взяты в скобки и разделены запятыми. Отношение  $\text{OH}$  и  $\text{F}$  у разных образцов зуниита действи-

тельно немного отличается. Пределы этих отклонений невелики: у (ОН) коэффициент обычно колеблется в пределах 14—16, а у F, соответственно, 4—2. Есть образцы, в которых коэффициент у фтора превышает вторые указанные средние значения. Некоторые авторы в этом случае предлагают выделить особую разновидность, называемую дилльнитом. Оснований для этого, по нашему мнению, нет.

Ю.Г.Загальская и Н.В.Белов [29] считают, что в центре 12-октаэдрического комплекса находится не Al в четвертой координации, а Si. Соответственно, основной комплекс, который (по Полингу) фигурирует у нас как  $[Si_5O_{16}]$ , по Загальской и Белову является  $[Si_4AlO_{16}]$ . Это трудно доказуемая деталь существенной роли не играет.

В справочнике "Минералы" [40] зуниит почему-то фигурирует среди ортосиликатов, и структура его сопоставляется со структурой NaCl, а не ZnS; и то, и другое неверно. Минералов, в составе которых было бы более 5 тетраэдров, пока не найдено. Однако среди искусственных соединений таковые известны. Сколько бы ни было тетраэдров в отрезке цепочки, состав ее может сколько угодно приблизиться к соотношению O:Si=3:1, но никогда не может его достигнуть.

#### 2.2.3.4. Отряд /10.

В 1995 г. нами [16] предложено считать новым кремне-кислородным мотивом дефектное образование из двух сдвоенных по ребру тетраэдров. Их состав —  $T_2X_6$  (где T=Si или □, а X=O или OH), т.е. как раз в этом случае достигается соотношение 3:1 или кратное ему. Этот мотив должен завершить ряд островных некольцевых силикатов (олигосиликатов), поэтому целесообразно в качестве индекса этого отряда дать ноль, сохранив индексы 6—9 для не найденных пока минералов в предыдущем отряде.

Расстояние между центрами двух сдвоенных по ребру тетраэдров равно 1.87 вместо 3.24 Å, когда тетраэдры соединены вершинами. Короткое расстояние между центрами соединенных по ребру тетраэдров делает невозможным одновременное заселение их атомами Si, поэтому в этих случаях всегда наблюдается их статистическое заполнение. Степень заполнения близка к 0.5, т.е. на такую пару тетраэдров статистически приходится один атом Si, а второй тетраэдр остается пустым — вакантным.

Однако поскольку анионы (O,OH) располагаются по всем вершинам таких объединенных тетраэдров, и в центре их общего ребра находится центр инверсии, постольку это дает основание считать подобную группировку новым "дефектным" кремнекислородным мотивом.

К этому отряду относятся три минерала: риббеит /104111, лейкофеницит /104211 и вюнцпаххит. Первые два минерала в качестве дополнения к основному мотиву имеют ортокремниевые ионы, в которых предпочтительным элементом является Si — второй элемент в IV-b подгруппе ПСХЭ. Поэтому третий индекс в их десятичном символе будет, соответственно, 4.

Можно ожидать, что будет найден минерал, по составу следующий за лейкофеницитом, т.е.  $Mn_9[(Si, \square)O_4(OH)_2](SiO_4)_3$ ; он являлся бы аналогом джерриджиббсита или сонолита, и ему необходимо было бы приписать символ /104311.

Третьим реально существующим минералом, относящимся к этому отряду, является вюнцпаххит /101111. В структурной формуле вюнцпаххита нет дополнительных атомов других элементов, поэтому третий индекс (подотряд) для него будет 1. Поскольку аналогичных по составу минералов нет, постольку он будет кроме подотряда представлять еще семейство, род и вид.

Основной кремнекислородный мотив вюнцпаххита представляет собою изолированную группу из четырех тетраэдров. Два внутренних тетраэдра соединены по ребру, и к каждому из них присоединено по одному внешнему тетраэдру через общую вершину. В центре общего ребра тетраэдров располагается центр инверсии (рис. 5).

Вне этого мотива находятся атомы Y и TR, имеющие к.ч. 5 в форме тригональной дипирамиды. Такие дипирамиды связаны друг с другом в пары через общее ребро. Слишком короткое расстояние между центрами этих дипирамид не позволяет заполнить их атомами Al. В результате в этих местах в структуре также имеют место дефекты.

Авторы, расшифровавшие структуру вюнцпаххита, считают его ортосиликатом (О.В.Якубович и др., [62]) и пишут его формулу так:

$(Y, TR)_8(Al_{2.5}\square_{1.5})(Al_{0.33}Si_{0.67})_{1.5}\square_{2.5}(SiO_4)_4O_{0.5}(OH)_{3.52}$  и, следовательно, игнорируют группировку из четырех тетраэдров, хотя в тексте о ней и упоминают. Эту формулу можно записать иначе, если ее удвоить (чтобы избежать дробных значений у коэффициентов) и учесть мотив  $T_4X_{12}$ , повторяющийся четыре раза:  
 $(Y, TR)_8(Al_5\square_3)[Si_{10}Al\square_5O_{34}(OH)_{14}]$ .

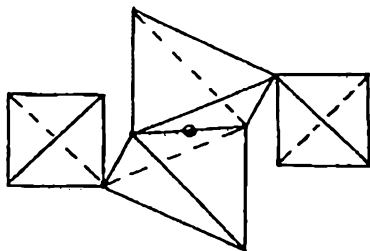


Рис. 5. Дефектный кремнекислородный мотив, являющийся предельным радикалом  $(Si, Al, \square)_4(O, OH)_{12}$  в подклассе островных силикатов



Резюмируя содержание этого раздела, можно сказать, что риббит и лейкофеницит относятся к одному подотряду, но к двум семействам, а вюнцпахкит представляет самостоятельный подотряд, семейство, род и вид.

### 2.3. Подкласс кольцевых силикатов 6142/2.

Этот подкласс делится на 3 отряда с отношениями O:Si — 3,0, 2,8 и 2,5 с индексами /21, /23, /25.

Отряды делятся на подотряды по наличию дополнительных предпочитаемых химических элементов.

Подотряды делятся на семейства, определяемые типом кольца. Типы колец индексируются цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, а семейство гидратов — нулем.

Ниже перечислены все типы колец с указанием их индексов, находящихся на четвертом месте десятичного символа соответствующего минерального вида.

- 1 — трехчленные кольца
- 2 — четырехчленные кольца
- 3 — оставим для пятичленных колец. Силикатов такого состава пока не найдено, но в классе фосфатов такой мотив есть.
- 4 — шестичленные кольца
- 5 — восьмичленные кольца
- 6 — девятичленные кольца
- 7 — двенадцатичленные кольца
- 8 — восемнадцатичленные кольца

В тех случаях, когда в структуре имеются кольца нескольких типов (обычно двух), классификация ведется по наибольшему кольцу. Так, например, при наличии колец с 9-ю и 3-мя атомами по девятичленному: эвдиалит —  $\text{Na}_{12}\text{Ca}_6\text{Zr}_3[\text{Si}_9\text{O}_{24}(\text{OH})_3]_2(\text{Si}_3\text{O}_9)_2$ .

Двенадцатичленные кольца найдены пока только в структуре траскита —

$\text{Ba}_{24}(\text{Ca},\text{Sr})(\text{Ti},\text{Fe},\text{Mn})_{16}[\text{Si}_2\text{O}_7]_6(\text{Si}_{12}\text{O}_{36})(\text{O},\text{OH})_{30}\text{Cl}_6 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ , но он классифицирован как диортосиликат (см. выше, табл. 19).

#### 2.3.1. Отряд /21; O:Si=3.0 (Si:O=1:3).

Этот отряд делится на 6 подотрядов:

- /211 минеральные виды без дополнительных анионов.
- /213 минеральные виды, в которых в качестве дополнительного предпочтительного элемента будет бор.
- /214 минеральные виды с дополнительными предпочитаемыми химическими элементами, находящимися в IV-b подгруппе ПСХЭ.
- /215 с дополнительными элементами V-b подгруппы ПСХЭ.
- /216 с дополнительными элементами VI-b подгруппы ПСХЭ.
- /217 с дополнительными элементами VII-b подгруппы ПСХЭ.

### 2.3.1.1. Подотряд /211. Минералы без дополнительных анионов.

В этом подотряде 4 семейства: /2111 — с трехчленными кольцами, /2114 — с шестичленными кольцами, /2118 — с восемнадцатичленными кольцами и /2110 — гидраты с шестичленными кольцами.

Таблица 24. Подотряд /211.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/2111	/21111	/211111	бенитоид $BaTi[Si_3O_9]$
		/211112	бацирит — $BaZr[Si_3O_9]$
		/211113	пабстит — $Ba(Sn,Ti)[Si_3O_9]$
		/211114	вадеит — $K_2Zr[Si_3O_9]$
/21112	/211121	/211121	уолстромит — $BaCa_2[Si_3O_9]$
		/211122	маргаросанит — $PbCa_2[Si_3O_9]$
/21113	/211311	/211311	псевдоволластонит- $\alpha$ — $Ca_3[Si_3O_9]$
/2114	/21141	/211411	берилл — $Al_2Be_3[Si_6O_{18}]$
		/211421	цирсианит — $Na_6CaZr[Si_6O_{18}]$
	/21142	/211422	казаковит — $Na_6MnTi[Si_6O_{18}]$
		/211423	комбит — $Na_4Ca_3[Si_6O_{16}(OH)_2]$
	/21142	/211424	ловозерит — $(Na,Ca)_2Zr[Si_6O_{12}(OH)_6]$ (триг.)
		/211431	имандрит — $Na_{12}Ca_3Fe_2[Si_6O_{18}]_2$
	/21144	/211441	коавшит — $Na_6CaTi[Si_6O_{18}]$
	/21145	/211451	ловозерит — $(Na,Ca)_2Zr[Si_6O_{12}(OH)_6]$ (мон.)
/2118	/21181	/211811	мегациклит — $Na_{16}K_2[Si_{18}O_{36}(OH)_{18}] \cdot 38H_2O$
/2110	/21101	/211011	диоптаз — $Cu_6[Si_6O_{18}] \cdot 6H_2O$
		/211021	костылевит — $K_4Zr[Si_6O_{18}] \cdot 2H_2O$

Первый из этих родов (бенитоид и др.) гексагональный, второй — триклинный, третий — тоже триклинный. Угол Si-O-Si у тройного кольца порядка  $130^\circ$ , он достаточно сильно отклоняется от соответствующих углов у силикатов с большим числом тетраэдров в кольце ( $147^\circ$ ), поэтому эти структуры менее устойчивы, и в природе их немного.

Такие минералы, как имандрит и коавшит, кристаллизуются в близких ромбических структурных типах, отличающихся удвоением параметра "b".

К семейству /2110 формально принадлежит и мегациклит. В этом случае ему бы надо было присвоить символ /211031. Однако он является единственным минеральным видом, в структуре которого имеется 18-членное кольцо, и приписав ему такой символ, мы бы потеряли семейство /2118.

Последние два минеральных вида в табл. 24 принадлежат к самостоятельным родам.

### 2.3.1.2. Подотряд /213. Минералы с дополнительным бором.

Таблица 25. Минеральные виды подотряда /213.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/2132	/21321	/213211	тарамеллит — $\text{Ba}_4(\text{Fe}^{3+}, \text{Ti})[\text{Si}_4\text{O}_{12}]\text{B}_2\text{O}_5\text{Cl}_x$
		/213212	титантарамеллит — $\text{Ba}_4(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})[\text{Si}_4\text{O}_{12}]\text{B}_2\text{O}_3\text{Cl}_x$
		/213213	нагасималит — $\text{Ba}_4(\text{V}^{3+}, \text{Ti})_4[\text{Si}_4\text{O}_{12}]\text{B}_2\text{O}_3(\text{O}, \text{OH})_2\text{Cl}$
/2134	/21341	/213411	турмалин — $\text{Na}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}, \text{F})_4$
		/213412	повондраит — $(\text{Na}, \text{K})(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3(\text{Fe}^{3+}, \text{Mg}, \text{Al})_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{O}, \text{OH})_4$
		/213413	бюргерит — $\text{NaFe}_3^{3+}\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{O}_3(\text{OH}, \text{F}))$
		/213414	шерл — $\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}, \text{F})_4$
		/213415	хромдравит — $\text{Na}(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Mg})_3(\text{Cr}, \text{Mg}, \text{Al})_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$
		/213416	эльбаит — $\text{Na}(\text{Li}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}, \text{F})_4$
		/213417	оленин — $\text{NaAl}_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{O}, \text{OH})_4$
		/213418	феррувит — $\text{CaFe}_3^{2+}(\text{Al}, \text{Mg})_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$
		/213419	фойтит — $\text{Fe}_2^{2+}(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$
	/21342	/213421	тяньшанит — $\text{Na}_9\text{KCa}_2\text{Ba}_6(\text{Mn}, \text{Fe})_6(\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Ta})_6[\text{Si}_{18}\text{O}_{54}]\text{B}_{12}\text{O}_{15}(\text{OH})_2$

Минералы рода /21321 принадлежат к ромбической сингонии. Кольца в их структурах четырехчленные.

Структурный тип турмалина /21341 —  $\text{XY}_3\text{Z}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_4$ , где  $\text{X}=\text{Na}, \text{Ca}$ ;  $\text{Y}=\text{Li}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}$ ;  $\text{Z}=\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+}$ .

Особняком стоит тяньшанит — /21342: в его структуре имеются изолированные открыто-разветвленные гексагональные кольца. К каждому атому Si в них присоединена группа ( $\text{Si}_2\text{O}_7$ ).

### 2.3.1.3. Подотряд /214. Минералы с дополнительными элементами из IV-b подгруппы

Все минеральные виды этого подотряда (кроме эвдиалита и барсановита) гидраты, поэтому формально четвертый индекс их символов можно было бы считать нулем. Однако в этом случае была бы неясна форма Si-O кольца, и наглядность таблицы для всего подотряда очень проиграла бы.

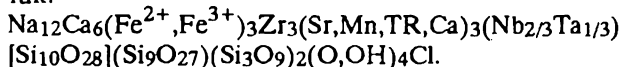
Первые три минерала имеют 4-членные кольца. У икерита кольца с дополнительным тетраэдром  $[\text{SiO}_4]$ , расположенным по диагонали.

Таблица 26. Минеральные виды подотряда /214.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/2142	/21421	/214211	кайнозит — $\text{Ca}_2(\text{Y, TR})_2[\text{Si}_4\text{O}_{12}](\text{CO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$
	/21422	/214221	сграховит — $\text{NaBa}_2\text{Mn}_2\text{Z}^{2+}\text{Mn}_{1.7}\text{Z}^{3+}[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2](\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_2\text{F} \cdot \text{H}_2\text{O}$
	/21424	/214241	икерит — $\text{Ca}_2\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]\text{Sn}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
/2144	/21441	/214411	скоутит — $\text{Ca}_7[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{CO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
/2146	/21461	/214611	эвдиалит — $\text{Na}_{12}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3[\text{Si}_9\text{O}_{24}(\text{OH})_3]_2(\text{Si}_3\text{O}_9)_2$
	/21462	/214621	барсановит — $\text{Na}_{12}\text{Ca}_6(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_3\text{Zr}_3(\text{Sr, Mn, TR, Ca})_3(\text{Nb}_{2/3}\text{Ta}_{1/3})[\text{Si}_{10}\text{O}_{28}][\text{Si}_9\text{O}_{27}](\text{Si}_3\text{O}_9)_2(\text{O, OH})_4\text{Cl}$
	/21463	/214631	аллуайвит — $\text{Na}_{19}(\text{Ca, Mn})_6(\text{Ti, Nb})_3[\text{Si}_{10}\text{O}_{28}]_2[\text{Si}_3\text{O}_9]_2\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Детальное уточнение структуры эвдиалита [49] показало, что у обычного эвдиалита в элементарной ячейке находятся два девятичленных кольцевых кремнекислородных радикала состава  $[\text{Si}_9(\text{O, OH})_{27}]$ , а у барсановита одно из этих колец центрировано десятым атомом Si и состав его, следовательно, будет  $\text{Si}_{10}(\text{O, OH})_{28}$ .

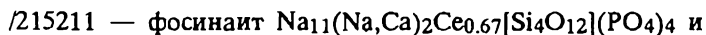
В этом случае девятичленное кольцо превратится в "платформу", состоящую из строенных пятичленных колец. Второе кольцо центрируется не атомом кремния, а (Nb, Ta) с координационным числом 6 (рис. 6, а и б). Кристаллохимическую формулу барсановита надо будет записать так:



Структура аллуайвита сходна со структурой эвдиалита, но параметр  $c$  у нее удвоен.

#### 2.3.1.4. Подотряд /215. Минералы с дополнительными элементами из V-b подгруппы.

В этом подотряде только два минеральных вида, кристаллизующихся в одном семействе /21522 и в двух разных структурных типах:



/215221 — клинофосинаит  $\text{Na}_{12}\text{Ca}_4[\text{Si}_4\text{O}_{12}](\text{PO}_4)_4$ . Первый относится к ромбической сингонии, второй — к моноклинной.

#### 2.3.1.5. Подотряд /216. Минералы с дополнительными элементами VI-b подгруппы.

Все минералы принадлежат одному семейству с четырехчленными кольцами  $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]$  и все являются гидратами, поэтому (по тем

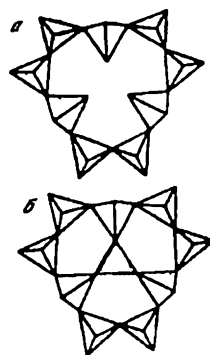


Рис. 6. Строение кремнекислородных колец в структурах: а — эвдиалита; б — барсановита

же соображениям, что и в подотряде /214) четвертым индексом их символа мы предлагаем считать 2, а не 0. Первые четыре минерала принадлежат к ромбической сингонии, а последние четыре к моноклинной. У последних двух структуры близки, но у лабуицовита параметр "a" удвоен.

Таблица 27. Минеральные виды подотряда /216.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/2162	/21621	/216211	ортоджоакинит — $Ba_2NaCe_2Fe^{2+}Ti_2[Si_4O_{12}]_2O_2(O,OH) \cdot H_2O$
		/216212	барииортоджоакинит — $(Ba,Sr)_4Fe^{2+}Ti_2[Si_4O_{12}]_2O_2(OH,F) \cdot H_2O$
		/216213	белоруссит — $NaMnBa_2Ce_2Ti_2[Si_4O_{12}]_2O_2(F,OH) \cdot H_2O$
	/21622	/216221	ненадкевичит (ромб.) — $(Na,K,Ca)_{2-x}(Nb,Ti)_2[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_2 \cdot 4H_2O$
	/21623	/216231	джоакинит-(Ce) — $Ba_2NaCe_2Fe^{2+}(Ti,Nb)_2[Si_4O_{12}]_2(OH) \cdot H_2O$
		/216232	стронциоджоакинит — $Sr_2Ba_2(Na,Fe^{2+})_2Ti_2[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_2 \cdot H_2O$
	/21624	/216241	ненадкевичит (мон.) — $(Na,K,Ca)_{2-x}(Nb,Ti)_2[Si_4O_{12}]_2(O,OH)_2 \cdot 4H_2O$
	/21625	/216251	лабуицовит — $(K,Na,Ba)_8(Ti,Nb)_9[Si_4O_{12}]_4(O,OH)_{10} \cdot 7H_2O$

В ряде книг по минералогии упоминается в аналогичном разделе минерал баотит —  $Ba_4Ti_7Nb[Si_4O_{12}]O_{16}Cl$ , но он является оксидом, а не силикатом.

### 2.3.1.6. Подотряд /217. Минералы с дополнительными элементами VII-b подгруппы.

Таблица 28. Минеральные виды подотряда /217.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/2172	/21721	/217211	папагоит — $Cu_2Ca_2Al_2[Si_4O_{12}](OH)_6$
	/21723	/217231	верпланкит — $Ba_{12}(Mn,Ti,Fe)_6[Si_4O_{12}]_6Cl_9(OH,O)_2(OH,H_2O)_7$
/2174	/21741	/217411	баратовит — $KLi_3Ca_7Ti_2[Si_6O_{18}]F_2$
	/21742	/217421	катаямалиит — $KLi_3Ca_3Ti_2[Si_6O_{18}](OH,F)_2$
/2170	/21701	/217011	петарасит — $Na_5Zr_7[Si_6O_{18}](Cl,OH) \cdot 2H_2O$
	/21702	/217021	мюрит — $Ba_{10}(Ca,Mn,Ti)_4[Si_8O_{24}](OH,Cl,O)_{12} \cdot 4H_2O$

Первый минерал моноклинный, второй гексагональный. Оставим символ рода /21722 для возможного минерала, содержащего в качестве дополнительного предпочтительного аниона F. Первый гидрат имеет шестичленное кольцо, а второй — восьмичленное.

### 2.3.2. Отряд /23.

Характеризуется отношением  $O:T=28:10=2.8$ . К этому отряду относится гиалотекит /231311  $Ca_2Ba_2Pb_2[Si_8(Si_{1.5}Be_{0.5})_2O_{28}]B_2F$ . В основе его структуры группировки ( $T_{10}O_{28}$ ), представляющие собой два четырехчленных кольца ( $Si_4O_{12}$ ), соединенные двумя тетраэдрами состава ( $Si_{1.5}Be_{0.5}O_4$ ). Поскольку каждый тетраэдр добавляет в общий мотив только по 2 атома O, вся группировка имеет состав:  $[Si_8(Si_{1.5}Be_{0.5})_2O_{28}]$ , в которой использованы все атомы кислорода.

Если же включить атомы бора, которые тоже имеют тетраэдрическую координацию, в общий структурный мотив, то они объединяют вышеназванные кремниевые группировки в слои.

К этому же отряду можно формально отнести и барсановит, о котором подробно говорилось в предыдущем параграфе, так как лежащая в основе его структуры платформа из строенных пятичленных колец имеет состав ( $Si_{10}X_{28}$ ). Однако, объединяя барсановит с гиалотекитом, пришлось бы разорвать группу очень близких по свойствам минералов с девятичленными кольцами. В этом случае ему надо было бы приписать символ /232411. Однако при разработке классификации приходится иногда объединять минералы со структурами, имеющими два типа Si-O мотивов, с минералами с одним типом. Делать это целесообразно по мотивам с большим числом тетраэдров. В гиалотеките кольца восьми- и четырехчленные, а в барсановите кольца девяти-, пяти- и трехчленные. Поэтому гиалотекит надо объединить с другими минералами, имеющими восьмичленные кольца, а барсановит — с минералами, имеющими девятичленные кольца.

Платформа состава ( $Si_{10}O_{28}$ ) имеется также в структуре аллуайвита.

### 2.3.3. Отряд /25. Силикаты со сдвоенными кольцами. Отношение $O:Si=5:2$ .

В этом отряде только один подотряд без дополнительных символов /251 и два семейства: первое /2512 со сдвоенными четырехчленными кольцами и второе /2514 со сдвоенными шестичленными кольцами. Все минералы, относящиеся к этому отряду, собраны в таблице 29.

К первому из них относятся стиснит и ирацит, принадлежащие к одному тетрагональному структурному типу  $P4/mcc$ .

Таблица 29. Силикаты со двоянными кольцами.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/2512	/25121	/251211	стисииит — $(K_{1-x}Ca_x)Th(Na,Ca)_2[Si_8O_{20}]$
		/251212	иракит — $KCa_2La[Si_8O_{20}]$
/2514	/25146	/251461	осумилит — $(K,Na)(Fe,Mg)_2(Al,Fe)_3(Si,Al)_{12}O_{30}$
		/251462	брэннокит — $KLi_3Sn_2[Si_{12}O_{30}]$
		/251463	пудреттит — $KNa_2B_3[Si_{12}O_{30}]$
		/251464	чейесит — $K(Mg,Fe^{+2})_4Fe^{+3}[Si_{12}O_{30}]$
	/25147	/251471	рёддерит — $(Na,K)_2(Mg,Fe)_5[Si_{12}O_{30}]$
		/251472	яггит — $(Na,K)_{1.5}Mg_2(Al,Mg,Fe,Ti)_3(Si,Al)_{12}O_{30}$
		/251473	меррихьюит — $(K,Na)_2(Fe,Mg)_5[Si_{12}O_{30}]$
		/251474	согдианит — $(K,Na)_2Li_2Fe_2Zr[Si_{12}O_{30}]$
		/251475	дарпиозит — $KNa_2LiMnZr[Si_{12}O_{30}]$
		/251476	миларит — $KCa_2AlBe_2[Si_{12}O_{30}] \cdot 0.5H_2O = KCa_2AlBe_2(H_2O)_{0.5}[Si_{12}O_{30}]$
	/25148	/251481	эйфелит — $KNa_3Mg_4[Si_{12}O_{30}]$
		/251482	арменит — $BaCa_2Al_3[Si_9Al_3O_{30}] \cdot 2H_2O = BaCa_2Al_3(H_2O)_2[Si_9Al_3O_{30}]$
	/25149	/251491	сугилит — $(K,Na)_2(H_2O,Na)_2(Fe^{+3},Na,Ti,Fe^{+2})_2(Li,Al,Fe^{+3})_3[Si_{12}O_{30}]$

В семействе /2514 все относящиеся к нему минеральные виды кристаллизуются в очень больших структурных типах (родах), имеющих гексагональную ячейку с  $a \sim 10,1-10,7$  и  $c \sim 13,8-14,4$  Å. Им можно присписать следующую структурную формулу  $A_2^{[6]}B_2^{[9]}C^{[12]}D^{[18]}E_3^{[4]}[T_{12}O_{30}]$  по В.Форбсу [71].

В этой структуре имеются двоянные гексагональные кольца  $[(Si,Al)_{12}O_{30}]$ , которые объединяются катионами с четверной и шестерной координацией в трехмерный каркас. Этот каркас имеет крупные пустоты с координационными числами 9—18, в которых могут размещаться крупные катионы типа В, С и Д (молекулы воды), или же часть из них может оставаться вакантной. Во всех позициях, обозначенных выше начальными буквами алфавита, могут присутствовать катионы разной валентности, поэтому число катионов в каждой из этих позиций может быть разным. Например: в позиции А — Mg, Ca, Fe, Sn, Mn, Ti, Nb и др.; в позиции В — K, Na, Mg, Fe, H<sub>2</sub>O; в позиции С — K, Na, Ca, Ba, Y и др.; в позиции Д — H<sub>2</sub>O; в позиции Е — Al, Be, Mg, Fe, Ti, Li, B; в позиции Т — Si, Al (и в небольших количествах Mg).

В этих структурных типах для катионов и молекул воды имеется 9 мест, но не всегда все они заняты; поэтому есть смысл выделить роды этого семейства по числу катионов и молекул воды. Последние занимают одни и те же позиции с катионами. По этой же причине



нет смысла специально выделять гидраты, как это мы делали в предыдущих разделах классификации.

Минимальное количество занятых катионных мест — 6. Этот структурный тип будет иметь символ /25146. Третий индекс (1) показывает, что в составе этих минералов нет дополнительных (кроме объединенных в кольцо) анионов. Четвертый индекс (4) определяется формой кольца (см. выше стр. 76) и пятый — (6) показывает число занятых катионных мест из 9-ти возможных. Он же характеризует конкретный род.

Атомы олова в структуре брэннокита занимают позицию А с координационным числом 6.

Атомы бора в структуре пудреттита занимают позицию Е с координационным числом 4, в других случаях эта позиция занимает атомами металла.

Максимальное количество минеральных видов имеет род /25147: рёддерит, ягиит, меррихьюит, согдианит, дарапиозит, миларит. Два минеральных вида имеют 8 занятых катионных мест: /25148 эйфелит и арменит. И только у одного минерального вида все 9 катионных мест заняты — сугилит /25149.

## 2.4. Подкласс цепочечных силикатов 6142/3.

### 2.4.1. Общая характеристика подкласса.

В силикатах встречаются цепочки трех типов: простые, открыто-разветвленные и циклически-разветвленные. Схематическое изображение различных случаев таких цепочек (по Ф.Либау [37]) представлено на рис. 7 а—ж. Каждая цепочка имеет определенный период повторяемости  $P$ , который используется для обозначения семейства. На рис. 7 большинство цепочек изображено в идеализированном виде; в частности, для наглядности большинство тетраэдров показано обращенными одной вершиной вверх. В реальных структурах тетраэдры обычно расположены не строго параллельно друг другу. Кроме того, даже простые цепочки не вытянуты в одном направлении. Близка к идеалу только первая цепочка (рис. 7, а) диопсид —  $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  (характерная для пироксенов). Начиная с периода повторяемости  $P=4$ , все цепочки уже деформированы. Чем больше  $P$ , тем сильнее деформация (рис. 7, б). Цепочка с  $P=4$  характерна для краускопфита —  $\text{Ba}_2[\text{Si}_4\text{O}_8(\text{OH})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

Открыто-разветвленные цепочки изображены на рис. 7(в, г). Они характеризуются тем, что к некоторым тетраэдрам обычных цепочек присоединены дополнительные тетраэдры. Так, в случае (в) дополнительные тетраэдры присоединены в обычной цепочке пироксенового типа к каждому тетраэдру. В результате повторяемость тетраэдров в цепочке становится  $P=4$ . Такой тип цепочки характерен для структуры магнезиального астрोфиллита —  $(\text{Na},\text{K})_4\text{Mg}_2(\text{Fe},\text{Mn})_5\text{Ti}_2[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{O},\text{OH},\text{F})_7$ . Дополнительные тетраэдры могут присоединиться не к каждому тетраэдру цепочки (случай

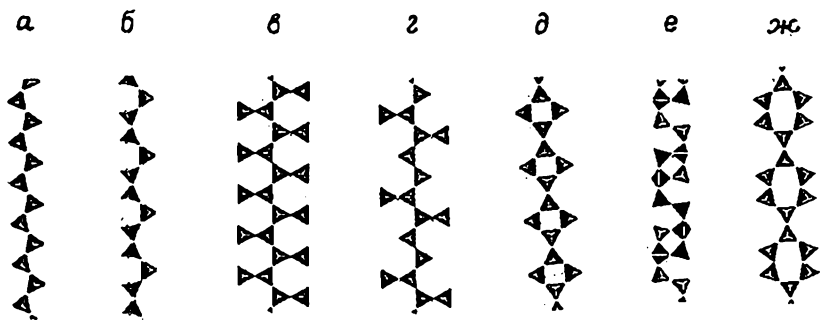


Рис. 7. Типы кремнекислородных цепочек. Строение цепочечных силикатов (по Либау): а, б — простые цепочки; в, г — разветвленные цепочки; д, е, ж — циклически-разветвленные цепочки

з). Все рассмотренные до сих пор цепочки имели отношение  $O:Si=3:1$ .

В циклически-разветвленных цепочках это отношение всегда отличается от 3:1 (рис. 7, д, е, ж).

Простейшая циклически-разветвленная цепочка с четырехчленными кольцами изображена на рис. 7, д. минералов с такой цепочкой пока не найдено. Сходная по форме цепочка у власовита  $Na_4Zr_2[Si_8O_{22}]$  и ревидита  $Na_{16}[Si_4O_6(OH)_5]_2[Si_8O_{15}(OH)_6] \cdot 28H_2O$ . В структуре последнего кроме такой цепочки имеется еще и более сложная лента. В каждом кольце их цепочек три вершины тетраэдра направлены в одну сторону, а четвертая — в противоположную. Кроме того, соседние квадратные циклы относительно оси цепочки в структуре власовита наклонены в разные стороны, в результате чего повторяемость вдоль цепочки удваивается — вместо 4 становится 8.

В ряде случаев кольца в цепочке отделены друг от друга отдельными тетраэдрами. Такая цепочка с квадратными кольцами, разделенными двумя тетраэдрами, изображена на рис. 7, е. (структура нордита —  $Na_4(Na, Mn)_2(Sr, Ca)_2(Zn, Mg, Fe, Mn)TR_2[Si_{12}O_{34}]$ ). На рис. 7, ж, изображена циклически-разветвленная цепочка с шестичленными кольцами. Простейшая из них найдена в структуре дирита —  $Fe_6^{2+}Fe_3^{3+}[Si_6O_{17}]O_3(OH)_5$ . В структуре пеллиита —  $Ca_2Ba_4(Fe, Mn)_4[Si_{12}O_{34}]$  повторение осуществляется через два кольца. Одно из них такое же, как у дирита, а в соседнем кольце вершины двух противоположащих тетраэдров ориентированы в противоположную сторону по отношению ко всем остальным тетраэдрам. В структуре либауита —  $Ca_3Cu_5[Si_9O_{26}] \cdot 3H_2O$  6-членные кольца чередуются с тремя тетраэдрами.

Подсчитывая для определения семейства число повторяющихся тетраэдров, мы будем пренебрегать их ориентировкой.

#### 2.4.2. Систематика минеральных видов в подклассе цепочечных силикатов.

Подкласс цепочечных силикатов /3, делится на 4 отряда по отношениям  $O$ :

Отряды	/31	/32	/33	/34
	3:1=3,0	26:9=2,89	17:6=2,83	11:4=2,75

Подотряды: /311 без дополнительных анионов, /316 с дополнительным анионом  $O$ , /317 с дополнительным анионом  $OH$ , /310 — гидраты. Подотряды делятся на семейства по числу  $P$  повторяющихся в цепочке тетраэдров (звенность).

#### 2.4.2.1. Отряд /31. Si:O=1:3 (O:Si=3,0).

В табл. 30 приведены символы всех семейств отряда /31. Четвертый индекс, характеризующий семейство, в подавляющем большинстве случаев соответствует числу повторяющихся в цепочке тетраэдров.

Таблица 30. Подотряды и семейства отряда /31.

Подотряд	Семейство						
	P=2	P=3	P=4	P=5	P=6	P=7	P=12
/311	/3112	/3113		/3115	/3116	/3117	/3119
/316	/3162	—	/3164	/3166	/3166	—	
/317	/3172	/3173	—	—	/3176	—	

Все семейства в подотрядах начинаются с P=2, т.к. среди минералов нет структур, в которых повторялся бы каждый следующий тетраэдр (т.е. P=1). Искусственные соединения с такими структурами есть.

Семейства делятся на роды (как правило — это структурные типы). В первом приближении каждый род можно охарактеризовать пространственной группой симметрии (пр. гр.). Если же окажется, что два структурных типа принадлежат к одной группе симметрии, то их надо рассматривать отдельно.

Нет никаких правил для последовательности перечисления минеральных видов в одном роде. Кому из них присваивать символ 1, а крму 2 и т.д.? Здесь существует полный произвол. Некоторые авторы последовательность воспринимают как список из названий минералов по алфавиту. Произвол существует в написании химических формул. В какой последовательности выписывать многочисленные катионы? Где писать дополнительные анионы и т.п.? Все эти вопросы в будущем необходимо решать, желательно на международном уровне.

##### 2.4.2.1.1. Подотряд /311. Не содержит дополнительных анионов.

Самое многочисленное семейство этого подотряда — /3112, в котором кристаллизуются пироксены. Оно делится на 7 родов (структурных типов), характеризующихся следующими пр. гр.: C2/c (род /31121), C2 (род /31122), P2c (род /31123), P21/c (род /31124), P6ca (/31125) и P6cn (род /31126).

В структурном типе /31121 с пр. гр. C2/c (будем называть его типом диопсида) кристаллизуются минералы, собранные в табл. 31.

Таблица 31. Минералы со структурой диопсида.

Название и формула	Символ
жадеит — $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311211
джервисит — $(\text{Na,Ca,Fe}^{2+})(\text{Sc,Mg,Fe}^{2+}[\text{Si}_2\text{O}_6])$	/311212
наталиит — $\text{Na}(\text{V}^{3+},\text{Cr}^{3+})[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311213
космохлор (юрит) — $\text{NaCr}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311214
намансилит — $\text{NaMn}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311215
эгирин — $\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ разновидность: акмит — $\text{Na}(\text{Fe,Mn})[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311216
диопсид — $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ разновидности: авгит — $\text{Ca}(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$ джефферсонит — $\text{Ca}(\text{Mg,Mn,Fe})[\text{Si}_2\text{O}_6]$ омфациит — $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311217
иогансенит — $\text{CaMn}^{2+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ разновидность: фассанит — $(\text{Ca,Mg,Fe})(\text{Mn,Fe,Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$	/311218
геденбергит — $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ разновидности: эссенеит — $\text{CaFe}[\text{SiAlO}_6]$ эгирин-геденбергит — $(\text{Ca,Na})(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+})[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311219
питданнит — $\text{Ca}(\text{Zn,Mn,Mg})[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311210

Вскоре возникнет вопрос о последнем индексе минерального вида, если число их в роде окажется больше десяти. В описанном выше случае их уже 10. Следовательно, любая находка нового минерального вида, относящегося к такому (перегруженному) роду, потребует каких-то новых решений. Поскольку в ближайшие годы таких случаев будет еще немного, для того, чтобы еще не менять всю систему классификации, можно предложить (как временную меру) ставить этот шестой индекс в скобках. Например, одиннадцатый минеральный вид в роде C2/c писать так: /31121(11).

В разделе 2.1.3. говорилось уже о разновидностях минеральных видов. Термин "разновидность" в минералогии уже довольно часто используется (см., например, справочник "Минералы" [40]). Принципы, изложенные выше, применены при классификации рода /31121. По-видимому, наибольшие возражения вызовет предложение считать авгит разновидностью диопсида, т.к. оба они являются весьма распространенными минералами. Но этот вопрос аналогичен случаю с полевыми шпатами, когда альбит, олигоклаз и андезин петрографами считаются отдельными минеральными видами из-за их различной роли в горных породах. Минералогических или, точнее, кристаллохимических оснований для этого нет никаких. И чем скорее в науках о земле будет однозначно использовано понятие разновидности минерального вида, тем скорее и строже станет принятая там терминология.

Следующие моноклинные структурные типы с символами: /31122, /31123, и /31124 не так богаты минеральными видами, как предыду-

ший. В роде /31122 с пространственной группой  $C2$  кристаллизуется один минеральный вид:

сподумен —  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  /311221. Несмотря на сходство со структурами других пироксенов, сподумен не образует с ним изоморфных смесей.

В роде /31123 с пр. гр.  $P2/c$  кристаллизуется также один из минеральных видов:

омфацит —  $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Al,Fe}^{3+})[\text{Si}_2\text{O}_6]$  /311231. Омфацит встречается в двух модификациях, принадлежащих к разным пространственным группам:  $P2/c$  (самостоятельный минеральный вид) и  $C2/c$ , к которой принадлежит большинство пироксенов. Эта вторая модификация должна считаться разновидностью диопсида (см. табл. 31).

В таблице 32 собраны остальные минеральные виды семейства /3112 и их разновидности.

Таблица 32. Минеральные виды, кристаллизующиеся в структурных типах /31124 ( $P2_1/c$ ), /31125 ( $Pbca$ ) и /31126 ( $Pbca$  или  $P2_1cn$ )

Род	Название и формула	Символ
/31124	клиноэнстатит — $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ разновидность: пижонит — $(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Ca})(\text{Mg,Fe}^{2+})[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311241
	клинобронзит — $(\text{Mg,Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311242
	канонит — $\text{MnMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311243
	клиногиперстен — $(\text{Fe,Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ разновидность: клиноэвлит — $(\text{Fe,Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311244
	клиноферросилит — $\text{Fe}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311245
/31125	энстатит — $\text{MgMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ разновидность: бронзит — $(\text{Mg,Fe})\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311251
	донпикорит — $(\text{Mn,Mg})\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311252
	гиперстен — $\text{FeMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ разновидность: феррогиперстен — $\text{Fe}(\text{Mg,Fe})[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311253
	ферросилит — $\text{FeFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ разновидность: эвлит — $\text{Fe}(\text{Fe,Mg})[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311254
/31126	протоэнстатит — $\text{MgMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311261
	протогиперстен* — $\text{FeMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	/311262

\* Примечание: По некоторым сведениям.

Этими минеральными видами исчерпывается семейство /3112.

Семейство /3113 — цепочечные силикаты без дополнительных анионов с повторением через 3 тетраэдра.

В этом семействе 7 минеральных видов, принадлежащих к 6-ти разным структурным типам.

первые 4 минеральных вида — с чисто кремнекилородными радикалами и без водородных связей.

$\beta$ -волластонит —  $\beta\text{-Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ . Эта низкотемпературная модификация представлена в природе тремя политипами: 1Т, 4Т, 2М. Пер-

вые два — триклинной сингонии и третий — моноклинной. Он иногда в минералогии называется параволластонитом. Все три модификации отличаются способом укладки кремнекислородных цепочек и принадлежат, следовательно, к трем структурным типам (родам) и трем минеральным видам.

1.  $\beta$ -волластонит (политип 1Т)  $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$  /311311
2.  $\beta$ -волластонит (политип 4Т)  $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$  /311321
3. Параволластонит (политип 2М)  $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$  /311331

Четвертым структурным типом и минеральным видом, имеющим кратные параметры  $a$ ,  $b$  и  $c$  и близкие углы триклинной сингонии, будет

4. Бустамит —  $\text{Ca}_3\text{Mn}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]_2$  /311341

Следующие минеральные виды имеют структуры с короткими водородными связями. Поскольку протон во всех этих структурах соединяет два тетраэдра той же цепочки, постольку его надо помещать в начало формулы.

5. Пектолит —  $\text{HNaCa}_2[\text{Si}_3\text{O}_9]$  /311351
6. Серандит —  $\text{HNa}(\text{Mn},\text{Ca})[\text{Si}_3\text{O}_9]$  /311352
7. Каскандит —  $\text{HNaSc}[\text{Si}_3\text{O}_9]$  /311361

У номеров 5 и 6 параметры триклинной решетки близки друг к другу, поэтому их можно отнести к одному структурному типу /31135. Эти параметры близки соответствующим параметрам волластонита 1Т. Все структурные типы этого семейства (кроме №3) принадлежат к триклинной сингонии. Каскандит отличается по параметрам элементарной ячейки от других минеральных видов этого семейства и поэтому он принадлежит к особому роду.

*Семейство /3114.* Цепочечные силикаты без дополнительных анионов с повторением через 4 тетраэдра у минералов пока не встречались. Известен только один гидрат — краускопфит; он рассматривается в подотряде /310.

*Семейство /3115.* Цепочечные силикаты без дополнительных анионов с повторением через 5 тетраэдров.

В этом семействе известны пять минеральных видов. Все они триклинные, принадлежащие одному структурному типу (родонита) /31151 (табл. 33).

Таблица 33. Минералы со структурой типа родонита.

Название и формула	Символ
родонит — $\text{CaMn}_4[\text{Si}_5\text{O}_{15}]$	/311511
литиомарстурит — $\text{LiCa}_2\text{Mn}_2[\text{Si}_5\text{O}_{14}(\text{OH})]$	/311512
намбулит — $(\text{Li},\text{Na})\text{Mn}_4[\text{Si}_5\text{O}_{14}(\text{OH})]$	/311513
натронамбулит — $(\text{Na},\text{Li})(\text{Mn},\text{Ca})_4[\text{Si}_5\text{O}_{14}(\text{OH})]$	/311514
бабингтонит — $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+})\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_5\text{O}_{14}(\text{OH})]$	/311515

*Семейство /3116.* Цепочечные силикаты без дополнительных анионов с повторением через 6 тетраэдров.

Чкаловит —  $\text{Na}_6\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$  ромбической сингонии /311611. Это единственный минеральный вид, относящийся к этому семейству. В его структуре Si-тетраэдры образуют изолированные зигзагообразные цепочки с периодичностью  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ , лежащие в плоскости *ab*. Изолированными Be-тетраэдрами они объединяются в трехмерный каркас типа  $\beta$ -кристобалита.

*Семейство /3117.* Цепочечные силикаты без дополнительных анионов с повторением через 7 тетраэдров.

К этому семейству принадлежат два минеральных вида, кристаллизующиеся в одинаковом триклинном структурном типе.

Пироксмангит —  $(\text{Ca}, \text{Mn})(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Mg})_6[\text{Si}_7\text{O}_{21}]$  /311711

Пироксферроит —  $(\text{Fe}, \text{Ca})_7[\text{Si}_7\text{O}_{21}]$  /311712

*Семейство /3119* с повторением через 12 тетраэдров представлено одним минеральным видом алаомозитом:

Алаомозит —  $\text{Pb}_{12}[\text{Si}_{12}\text{O}_{36}]$  /311911.

Этим минеральным видом заканчивается подотряд /311.

2.4.2.1.2. Подотряды /316, /317 и /310. Минералы, содержащие в качестве дополнительного предпочитаемого неметалла — кислород, гидроксил и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Подотряд /316 имеет три семейства (см. табл. 34 и 35).

Таблица 34. Семейства в подотрядах /316, /317, /310.

Подотряд	Семейство				
	P=2	P=3	P=4	P=5	P=6
/316	/3162	—	/3164	—	/3166
/317	/3172	/3173	/3174	—	/3176
/310	/3102	/3103	/3104	/3105	/3106

В этот подотряд можно было бы включить суринамит  $\text{Mg}_3\text{Al}_3[\text{Si}_3\text{BeAlO}_{15}]\text{O}$ , приписав ему символ /316511. Основой его структуры являются открыто-разветвленные цепочки  $[\text{T}_5\text{O}_{15}]$ , однако автор [92] полагает, что характер заселения тетраэдров позволяет выделить группы  $[\text{Si}_2\text{AlO}_{10}]$  и  $[\text{SiO}_4]$ , соединенные  $\text{BeO}_4$ -тетраэдрами. Поэтому мы и поместили суринамит в подкласс олигосиликатов (см. табл. 23).



Таблица 35. Минеральные виды подотряда /316.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/3162	/31621	/316211	рамзаит — $\text{Na}_2\text{Ti}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]\text{O}_3$
/3164	/31641	/316411	тайканит — $\text{BaSr}_2\text{Mn}_2^{3+}[\text{Si}_4\text{O}_{12}]\text{O}_2$
		/316412	сузукинит — $\text{BaV}_2^{4+}[\text{Si}_4\text{O}_{12}]\text{O}_2$
	/31642	/316421	магнезуальный астрофиллит — $(\text{Na},\text{K})_4\text{Mg}_2(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Mn})_5\text{Ti}_2[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{O},\text{OH},\text{F})_7$
	/31643	/316431	гидроастрофиллит — $(\text{H}_3\text{O},\text{K},\text{Ca})_3(\text{Fe},\text{Mn})_5\text{Ti}_2[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2(\text{O},\text{OH})_7$
/3166	/31661	/316611	энигматит — $\text{Na}_2\text{Fe}_5^{2+}\text{Ti}^{4+}[\text{Si}_6\text{O}_{18}]\text{O}_2$
		/316612	рёнит — $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_4\text{Fe}^{3+}\text{Ti}^{4+}[\text{Si}_3\text{Al}_3\text{O}_{18}]\text{O}_2$
		/316613	криновит — $\text{Na}_2\text{Mg}_4\text{Cr}_2^{3+}[\text{Si}_6\text{O}_{18}]\text{O}_2$
		/316614	велшит — $\text{Ca}_2\text{Mg}_4\text{Fe}^{3+}\text{Sb}^{5+}[\text{Si}_4\text{Be}_2\text{O}_{18}]\text{O}_2$
		/316615	сапфирин (трикл.) — $(\text{Mg},\text{Al})_7(\text{Mg},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_6\text{O}_{18}]\text{O}_2$
		/316616	уйлкинсонит — $\text{Na}_2(\text{Fe}_4^{3+}\text{Fe}_2^{2+})[\text{Si}_6\text{O}_{18}]\text{O}_2$
		/316617	макарочкинит — $(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Ti})_6(\text{Si},\text{Be},\text{Al})_6\text{O}_{18}]\text{O}_2$
		/316618	лоррит — $\text{Ca}_2\text{Mg}_2\text{Fe}_4^{2+}[\text{Si}_2\text{Al}_4\text{O}_{18}]\text{O}_2$
	/31662	/316621	сапфирин (монокл.) — $(\text{Mg},\text{Al})_7(\text{Mg},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_6\text{O}_{18}]\text{O}_2$

Все 8 минералов рода /31661 кристаллизуются в триклинной сингонии, а сапфирин имеет еще и моноклинную модификацию.

Подотряд /317 имеет 4 семейства (см. табл. 36).

Таблица 36. Минеральные виды в подотряде /317.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/3172	/31721	/317211	шатукиит — $\text{Cu}_3[\text{Si}_2\text{O}_6]_2(\text{OH})_2$
	/31722	/317221	карфолит — $\text{MnAl}_2[\text{Si}_2\text{O}_6](\text{OH})_4$
		/317221	феррокарфолит — $\text{FeAl}_2[\text{Si}_2\text{O}_6](\text{OH})_4$
/3173	/31731	/317311	фошагит — $\text{Ca}_4[\text{Si}_3\text{O}_9](\text{OH})_2$
/3174	/31741	/317411	баланджероит — $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Mn}^{2+})_{21}[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2\text{Q}_3(\text{OH})_{20}$
/3176	/31761	/317611	свнероит — $\text{Na}_2(\text{Mn}^{2+},\text{Mn}^{3+})_{10}(\text{Si}_{11}\text{V})_{34}(\text{OH})(\text{OH})_2$

Подотряд /310. Гидраты. Семейства, как и во всех предыдущих случаях, выделяются по числу повторяющихся в цепочке тетраэдров.

В структуре стокезита атомы Sn находятся в искаженных октаэдрах между соседними цепочками, т.е. они вместе с атомами кальция представляют катионную часть его химической формулы.

Таблица 37. Минеральные виды в подотряде /310.

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/3102	/31021	/310211	линцит — $\text{Na}_3\text{LiTi}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$
	/31022	/310221	кукисумит — $\text{Na}_6\text{ZnTi}_4[\text{Si}_2\text{O}_6]_4\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
/3103	/31031	/310311	умбит — $\text{K}_2\text{Zr}[\text{Si}_3\text{O}_9] \cdot \text{H}_2\text{O}$
	/31032	/310321	параумбит — $(\text{K},\text{H})_2\text{Zr}[\text{Si}_3\text{O}_9] \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	/31033	/310331	соренсенит — $\text{Na}_4\text{SnBe}_2[\text{Si}_3\text{O}_9] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	/31034	/310341	илерит — $\text{Na}_2\text{Zr}[\text{Si}_3\text{O}_9] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
		/310342	комковит — $\text{BaZr}[\text{Si}_3\text{O}_9] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
		/310343	сазыкинаит — $\text{Na}_5\text{YZr}[\text{Si}_3\text{O}_9]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	/31035	/310351	кальциоилерит — $\text{CaZr}[\text{Si}_3\text{O}_9] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
/3104	/31041	/310411	краускопфит — $\text{Ba}_2[\text{Si}_4\text{O}_8(\text{OH})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	/31042	/310421	омилит — $\text{Sr}_3(\text{Ti},\text{Fe}^{3+})[\text{Si}_4\text{O}_{12}](\text{O},\text{OH}) \cdot (2-3)\text{H}_2\text{O}$
/3105	/31051	/310511	сантаклараит — $\text{CaMn}_4^{2+}[\text{Si}_5\text{O}_{14}(\text{OH})](\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$
/3106	/31061	/310611	гайдоннеит — $\text{Na}_4\text{Zr}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	/31062	/310621	стокезит — $\text{Ca}_2\text{Sn}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	/31063	/310631	тоберморит — $\text{Ca}_5[\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	/31064	/310641	клинотоберморит — $\text{Ca}_5[\text{Si}_6(\text{O},\text{OH})_{18}] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

#### 2.4.2.2. Отряды /32, /33 и /34. Силикаты с циклически-разветвленными цепочками.

##### 2.4.2.2.1. Отряд /32. Отношение O:Si=26:9 (2,89).

В этом отряде кристаллизуется только один минерал:

либаутит —  $\text{Ca}_3\text{Cu}[\text{Si}_9\text{O}_{26}]$  /321911. Он является одновременно подотрядом, семейством, родом и видом. В его цепочке три тетраэдра чередуются с шестичленными кольцами.

##### 2.4.2.2.2. Отряд /33. Отношение O:Si=17:6 (2,83).

В этом отряде три подотряда: /331 — без дополнительных анионов, /335 — с дополнительным предпочитаемым элементом V-b подгруппы (As), /336 — с дополнительным кислородом.

В подотряде /331 кристаллизуются два минерала:

1. Пеллиит —  $\text{Ba}_2\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})_2[\text{Si}_6\text{O}_{17}]$  /331611; цепочка его структуры состоит из шестичленных колец тетраэдров.

2. Нордит —  $\text{Na}_2(\text{Na},\text{Mn})_2(\text{Sr},\text{Ca})_2(\text{Zn},\text{Mg},\text{Fe},\text{Mn})\text{TR}_2[\text{Si}_{12}\text{O}_{34}]$  /33164. В его цепочке квадратные кольца разделены двумя тетраэдрами.

В подотряде /335 — один минерал:

Джоннинесит —  $\text{Na}_2\text{Mn}_9(\text{Mg},\text{Mn})_7[\text{Si}_6\text{O}_{17}]_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_8$  /335611. Структура состоит из циклически-разветвленных цепочек, состоящих из шестичленных колец тетраэдров.

В подотряде /336 одно семейство /3366, в котором кристаллизуют-

1. Дирит —  $\text{Fe}_6^{2+}\text{Fe}_3^{3+}[\text{Si}_6\text{O}_{17}]\text{O}_3(\text{OH})_5$  /336611. Кристаллизуется в моноклинной сингонии. Цепочка в его структуре того же типа, что у предыдущего минерала.

Следующие два минерала этого подотряда — триклинные, изо-структурные:

2. Хаунит —  $\text{Na}(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}, \text{Al}, \text{Mg})_{12}[\text{Si}_6\text{O}_{17}]_2(\text{O}, \text{OH})_{10}$  /336621

3. Танеямалит —  $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Mn}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_{12}[\text{Si}_6\text{O}_{17}]_2(\text{O}, \text{OH})$  /336622.

Тип цепочки такой же, как у предыдущих минералов.

#### 2.4.2.2.3. Отряд /34. Отношение $\text{O}:\text{Si}=11:4$ (2,75).

Этот отряд включает два минерала — власовит и редвит. Каждый из них представляет собою подотряд, семейство, род и вид.

Подотряд /341 — власовит —  $\text{Na}_4\text{Zr}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}]$  /341411.

Цепочки в его структуре состоят из четырехчленных колец, соединенных между собой вершинами.

Подотряд /344 — цепочечный силикат, содержащий в качестве дополнительного неметалла кремний:

редвит —  $\text{Na}_{16}[\text{Si}_4\text{O}_6(\text{OH})_5]_2[\text{Si}_8\text{O}_{15}(\text{OH})_6](\text{OH})_{10} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$  /314411.

В его структуре два кремнекислородных мотива: две цепочки  $[\text{Si}_4\text{X}_{11}]$  и лента  $[\text{Si}_8\text{X}_{21}]$ . Поскольку анионов X в цепочках больше, чем в лентах (22 и 21 соответственно), постольку его надо классифицировать по цепочкам. Строение цепочки с повторяемостью  $P=4$  сходно с цепочками власовита. Ленты в структуре редвита отличаются оригинальным строением (из восьми тетраэдрических колец) с отношением  $\text{X}:\text{Si}=21:8$ . Таких лент нет в других силикатах, поэтому мы отметили их на рис. 3, где указаны составы всех силикатных радикалов.

## 2.5. Подкласс ленточных силикатов 6142/4

В этом подклассе 6 отрядов:

/41 Si:O=6:17, O:Si=2,83

/42 Si:O=5:14, O:Si=2,80

/43 Si:O=4:11, O:Si=2,75

/44 Si:O=7:19, O:Si=2,71

/45 Si:O=3:8, O:Si=2,67

/46 Si:O=2:5, O:Si=2,50

На рис. 8, а—з показано строение основных типов лент. В струк-

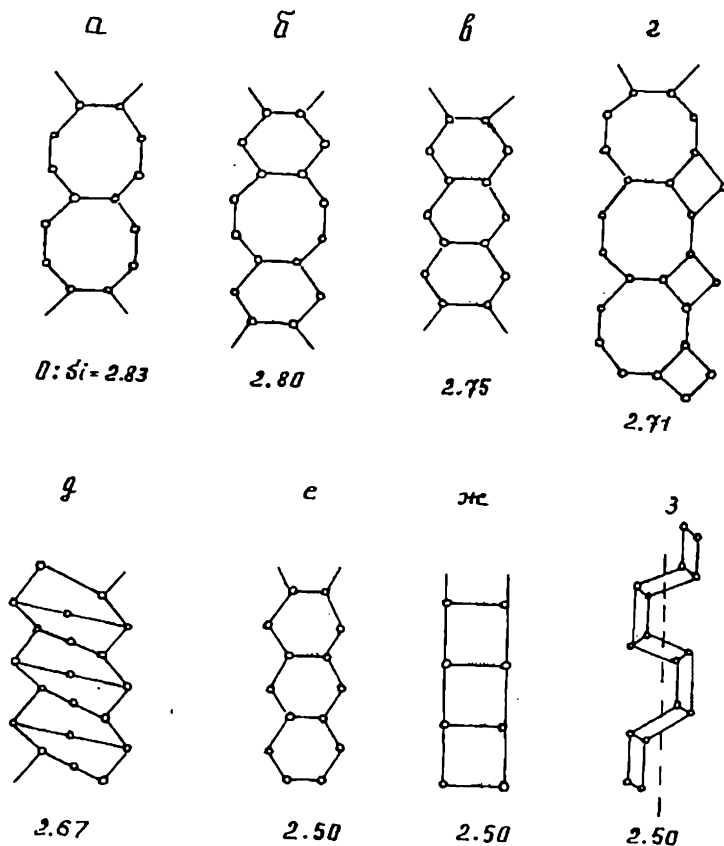


Рис. 8. Основные типы лент: а — ксонотлит; б — инезит; в — амфиболы; г — тинаксит; д — бавеит; е — иафертисит; ж — эльпидит; з — эпидидимит. Кругами обозначены атомы кремния в центрах кислородных тетраэдров

турах минералов с отношением  $O:Si=2.5$ , имеющих ленты из четырехчленных колец (рис. 8, ж), эти ленты часто бывают не плоскими, а в виде коленчатых валов (рис. 8, з). В этом случае некоторые авторы считают их не лентами, а трубками на том основании, что в таких структурах можно представить себе ось трубки (рис. 8, ж — пунктирная линия). Сказанное, например, относится к эпидидимиту. Некоторые авторы рассматривают такие минералы в двух местах классификации: среди трубок и среди лент (см., например, Ф.Либау [37] рис. 7.11, с. 146 и рис. 7.13, с. 152). Чтобы добиться в этом вопросе однозначности, мы предлагаем мысленно растягивать подобные образования вдоль оси трубки. В случае эпидидимита можно мысленно этим путем превратить коленчатый вал в плоскую ленту, поэтому его структуру можно рассматривать как ленточную. В истинных же трубчатых силикатах превратить таким путем трубку в ленту невозможно (см. рисунки трубчатых силикатов в следующем разделе или в книге Ф.Либау (рис. 7.13, с. 152).

#### 2.5.1. Отряд /41, $O:Si=17:6(2.83)$ .

К этому отряду относятся два минеральных вида:

ксонотлит —  $Ca_6[Si_6O_{17}](OH)_2$  /417111;

зорит —  $Na_6Ti_5[Si_6O_{17}]_2(O,OH)_5 \cdot 11H_2O$  /410111.

#### 2.5.2. Отряд /42, $O:Si=14:5(2.80)$ .

К этому отряду относится один минеральный вид:

инезит —  $Mn_7Ca[Si_{10}O_{28}](OH)_2 \cdot 5H_2O$  /420111.

#### 2.5.3. Отряд /43, $O:Si=11:4(2.75)$ .

Этот отряд является самым богатым минеральным видом и именно по этой причине наиболее трудным для систематики. К нему относятся, в частности, амфиболы — важнейшие порообразующие минералы, кристаллизующиеся в ряде близких структурных типов. Отряд делится на два подотряда по дополнительным предпочитаемым анионам: подотряд /436, где дополнительным предпочитаемым анионом является кислород; подотряд /437, с предпочитаемыми дополнительными анионами  $OH$  и  $F$ . Общая структурная формула амфиболов будет  $A_{0-1}B_2C_5(Si,Al)_8(O,OH)_{22}(O,OH,F)_2$ .

Природные амфиболы представляют собой многокомпонентный твердый раствор, поэтому их минеральные виды можно относить только к теоретическим конечным составам.

Классификация амфиболов очень подробно была рассмотрена Б. Ликом [75]. Он поделил все амфиболы на 4 группы по химическому составу А, В и С металлов: 1. Fe-Mg-Mn-амфиболы, 2. Ca-амфиболы,

3. Na-Ca-амфиболы и Na-амфиболы. Затем в первой группе отделил ромбические амфиболы от моноклинных.

Б.Лик предложил рассматривать (в качестве минеральных видов) минералы конечных составов. Так, например, вместо клинохолмквистита  $\text{Li}_2(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$  — считать минеральными видами и соответственно наименовать их

$\text{Li}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$  — магнезиоклинохолмквиститом и

$\text{Li}_2\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$  — ферроклинохолмквиститом.

Целесообразность этого предложения не вызывает сомнения. Однако это требует большой дополнительной работы со всеми другими разделами минералогии (кроме группы амфиболов, о которой конкретно говорил Б.Лик). Это, несомненно, в будущем целесообразно проделать. Однако сейчас для тех разделов минералогии, где подобная работа не проведена, менять многие названия одному автору (без рекомендации IMA) просто невозможно. Поэтому для тех минералов, для которых в литературе сохранились такие упрощенные названия без указания на изоморфную примесь, например (Mg,Fe), мы использовали эти названия без соответствующих оговорок.

В предлагаемой нами классификации амфиболы, как и во всех предыдущих случаях, прежде всего делятся на подотряды по положению их неметаллических элементов в ПСХЭ. Конкретно это преобладание в неметаллической части их формул кислорода над гидроксидом и фтором, или наоборот — преобладание гидроксила или фтора. Затем эти подотряды делятся на семейства (четвертый знак символа) по признаку сингонии и отсутствия или наличия металла в положении "А", а затем по типу металла в положении "В". Этот таксон в данном случае соответствует понятию "род" (пятый знак), а уже в нем суммируются все минеральные виды.

### 2.5.3.1. Подотряд /436. Минералы с дополнительными предпочитаемыми атомами кислорода.

Этот подотряд имеет два семейства: первое /4361, где катион А отсутствует (2 вида), и второе — /4362, у которого катион А присутствует (4 вида), см. табл. 38.

Таблица 38. Минеральные виды в подотряде /436

Название и формула	Символ
Бидалотит — $(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al,Ti})_7(\text{Si,Al})_8\text{O}_{22}(\text{O,OH})_2$	/436111
Феррочермакит — $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}]\text{O}_2$	/436112
Керсутит — $\text{NaCa}_2\text{Mg}_4\text{Ti}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}]\text{O}(\text{OH})$	/436211
Феррокерсутит — $\text{NaCa}_2\text{Fe}_4^{2+}\text{Ti}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}]\text{O}(\text{OH})$	/436214
Ферриэденит — $\text{NaCa}_2\text{Fe}_3^{2+},\text{Fe}_2^{3+}[\text{Si}_7\text{AlO}_{22}]\text{O}_2$	
Ферригастингсит — $\text{NaCa}_2\text{Fe}_2^{2+}\text{Fe}_1^{3+}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}]\text{O}_2$	/436214

2.5.3.2. Подотряд /437. Минералы с дополнительными предпочитаемыми анионами (ОН) и F.

Этот подотряд /437 очень богат минеральными видами, поэтому он требует особенно тщательной классификации. Семейства в нем целесообразно выделить прежде всего по симметрии и обязательно учесть, занята ли или свободна позиция А. В результате получается 6 семейств:

№	Символ семейства	Пр. гр.	Наличие А	Табл. №
1	/4371	Pnma	—	39
2	/4372	Pnma	А	39
3	/4373	C2/m	—	40
4	/4374	C2/m	А	41
5	/4375	P2 <sub>1</sub> /m	—	42
6	/4376	P2 <sub>1</sub> /m	А	—

Представителей 6-го семейства до сих пор не найдено.

К перечисленным выше семействам надо, как всегда, добавить семейство гидратов /4370.

Таксоны — роды (пятый индекс) выделяется по наличию разных химических элементов в положении "А", "В" или "Х".

Минералы, кристаллизующиеся в первых двух семействах, представлены в табл. 39.

Таблица 39. Ромбические семейства амфиболов (Pnma)

А	В	С	Основной анион	Х	Название	Символ
—	Li <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-холмквистит	/437111
—	Li <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-холмквистит	/437112
—	Mg <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-антофиллит	/437121
—	Fe <sub>2</sub>	Fe <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-антофиллит	/437122
—	Mg <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-жедрит	/437123
—	Fe <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-жедрит	/437124
Na	(Mg,Fe) <sub>2</sub>	(Mg,Fe) <sub>5</sub>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	натриевый антофиллит	/437211
Na	(Mg,Fe) <sub>2</sub>	(Mg,Fe) <sub>4</sub> Al	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	натриевый жедрит	/437212

В результате рассмотрения минералов первых двух семейств, собранных в таблице 39, опять возникают новые вопросы, связанные с минералогической терминологией. Так, например, М.Флейшер в своей книге помещает жедрит и магнезио-жедрит как два минерала, но дает их с одинаковой химической формулой. В обоих случаях (Mg,Fe) даются вместе через запятую. Логично, как сказано выше (по Лику) считать минералы, в названии которых существуют приставки типа магнезио- и ферро-, конечными в изоморфном ряду, а саму изоморфную примесь уже не указывать.

Неясен вопрос с необходимостью указания в названии минерала в положении "А" (см. в табл. 39 натриевый жедрит и натриевый антофиллит). Авторы, применяющие такую терминологию, хотят подчеркнуть, что в аналогичных по составу минералах металл в положении "А" может присутствовать или отсутствовать. Однако для всех минералов, упомянутых в таблице 39, такой оговорки не делается. Думаю, что предел в 50% всегда надо иметь ввиду:

Минералы третьего семейства представлены в табл. 40.

Таблица 40. Третье семейство /4373 (без А, пр.гр. С2/т)

В	С	Основной анион	Х	Название	Символ
Li <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-клинохолмквистит	/437311
Li <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-клинохолмквистит	/437312
Na <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH,F) <sub>2</sub>	магнезио-рибекит	/437321
Na <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>2</sub> <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH,F) <sub>2</sub>	рибекит	/437322
Na <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	глаукофан	/437323
Na <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-глаукофан	/437324
Na <sub>2</sub>	(Mg,Fe <sup>2+</sup> ) <sub>3</sub> (Al,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	кроссит	/437325
Mg <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-куммингтонит	/437331
(Mg,Fe) <sub>7</sub>		Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	куммингтонит	/437332
CaNa	Mg <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферри-винчит	/437341
CaNa	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	алюмино-винчит	/437342
CaNa	Fe <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Al	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-алюмино-винчит	/437343
CaNa	Fe <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-ферри-винчит	/437344
CaNa	Mg <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферри-барруазит	/437345
CaNa	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	алюмино-барруазит	/437346
CaNa	Fe <sub>3</sub> <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-алюмино-барруазит	/437347
CaNa	Fe <sub>3</sub> <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-ферри-барруазит	/437348
Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	тремолит	/437351
Ca <sub>2</sub>	Fe <sub>5</sub> <sup>2+</sup>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-актинолит	/437352
Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	алюмино-магнезио-горнблендит	/437353
Ca <sub>2</sub>	Fe <sub>4</sub> Al	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH,F) <sub>2</sub>	алюмино-ферро-горнблендит	/437354
Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	алюмино-чермакит	/437355
Ca <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-алюмино-чермакит	/437356
Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферри-чермакит	/437157
Ca <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-ферри-чермакит	/437158
Mn <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	тиродит	/437161
Mn <sub>2</sub>	Fe <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	даннеморит	/437162
Fe <sub>2</sub>	Fe <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	грюнерит	/437171
Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	F <sub>2</sub>	фтортремолит	/437181



В таблице 41 собраны минеральные виды семейства /4374.

Таблица 41. Четвертое семейство /4374 (с А, пр.гр. С2/м)

A	B	C	Основной анион	X	Название	Символ
Na	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	экерманит	/437411
Na	Na <sub>2</sub>	Fe <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Al	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-экерманит	/437412
Na	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup> Al	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-арфведсонит	/437413
Na	Na <sub>2</sub>	Fe <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	арфведсонит	/437414
Na	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	нибеит	/437415
Na	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ликсцит	/437416
Na	Na <sub>2</sub>	Mn <sub>4</sub> (Fe <sup>3+</sup> ,Al)	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	коцулит	/437417
Na	CaNa	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	рихтерит	/437421
Na	CaNa	Fe <sub>5</sub> <sup>2+</sup>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-рихтерит	/437422
Na	CaNa	Mg <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-ферри-катофорит	/437423
Na	CaNa	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-алюмино-катофорит	/437424
Na	CaNa	Fe <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	алюмино-катофорит	/437425
Na	CaNa	Fe <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферри-катофорит	/437426
Na	CaNa	Mg <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> <sup>3+</sup>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-ферри-терамит	/437427
Na	CaNa	Fe <sub>3</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>2</sub> <sup>3+</sup>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферри-терамит	/437428
Na	CaNa	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-алюмино-терамит	/437429
Na	CaNa	Fe <sub>3</sub> <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	алюмино-терамит	/437430
Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	зденит	/437431
Na	Ca <sub>2</sub>	Fe <sub>5</sub> <sup>2+</sup>	Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферро-зденит	/437432
Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	паргасит	/437433
Na	Ca <sub>2</sub>	Fe <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Al	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	ферропаргасит	/437434
Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-гастингсит	/437435
Na	Ca <sub>2</sub>	Fe <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	гастингсит	/437436
(K,Na)		(Na,Li) <sub>2</sub> (Mg,Mn...) <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	корнит	/437441
(K,Na)		Ca <sub>2</sub> (Mg,Fe,Al...) <sub>5</sub>	(Si,Al) <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезио-саданагаит	/437442
(K,Na)		Ca <sub>2</sub> (Fe,Mg...) <sub>5</sub>	(Si,Al) <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	саданагаит	/437443
Pb		Ca <sub>2</sub> (Mg,Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>5</sub>	Si <sub>6</sub> Be <sub>2</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	джосмитит	/4374451
Na		CaNa(Mg,Fe) <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(F,OH) <sub>2</sub>	фторрихтерит	/437461

Несколько слов о названиях минералов, в частности о названиях, указанных в последних двух таблицах. К сожалению, в минералогической терминологии существует большая путаница с наименова-

нием минералов (минеральных видов). Так, например, Б.Лик различает магнезио-клинохолмквистит и ферро-клинохолмквистит как конечные составы изоморфных смесей, что несомненно целесообразно. Но уже для аналогичной пары глаукофана в Mg-минерале приставка магнезио- отсутствует. Если сравнить названия экерманита и ферроэкерманита с названиями магнезио-арфведсонита и арфведсонита, то в первом случае приставка оставлена для Fe-минерала, а два Mg-минерала пропущены; для второй пары — наоборот. В магнезио-куммингтоните  $Mg_2Mg_5[Si_8O_{22}](OH)_2$  приставка магнезио- вновь фигурирует, а вместо ферро-куммингтонита  $Fe_2Fe_5[Si_8O_{22}](OH)_2$  фигурирует грюнерит. В других статьях по минералогии фигурирует просто куммингтонит с изоморфной частью  $(Mg,Fe)_2$  или  $(Mg,Fe)_7$ .

Здесь возникает вопрос — какой номер приписать соответствующему роду? До сих пор мы, считаясь с изоморфным замещением  $(Mg,Fe)$  в положении "С", каждой соответствующей паре минералов приписывали одинаковую цифру рода (по магнию). А поскольку феррокуммингтонита или магнезио-грюнерита не существует, постольку цифра для рода грюнерита оказалась самостоятельной (7) — см. табл. 40. Возможно, логичнее было бы не считаться с изоморфизмом замещения в положении "С" и всем соответствующим минералам, названия которых начинаются с приставки ферро-, приписать одну цифру рода.

Как говорилось выше, остается совершенно недоработанным вопрос о разновидностях. Так, тремолит  $Ca_2Mg_5[Si_8O_{22}](OH)_2$  без приставки магнезио — его разновидность с небольшой изоморфной примесью железа: в литературе он иногда имеет специальное название "актинолит", в других курсах минералогии актинолит отсутствует. У Б.Лика зато вместо ферро-тремолита фигурирует ферро-актинолит —  $Ca_2Fe_5^{2+}[Si_8O_{22}](OH)_2$ . Остается неясным и вопрос последовательности минеральных видов. Он связан, в первую очередь, с порядком написания химических формул или названий. Некоторые авторы порядок металлов в формуле пишут по величине коэффициентов у формул, другие пользуются систематикой в ПСХЭ и т.д. Названия минералов часто пишутся просто по алфавиту.

Пятое семейство /4375 включает минералы, сходные с предыдущими по структуре, но имеющие другую пространственную группу: моноклинную  $P2_1/m$  (табл. 42).

Классифицировать их приходится только по элементам, находящимся в положении В. Это семейство имеет 2 рода, принадлежащих к моноклинной сингонии —  $P2_1/m$ .

К этому семейству принадлежат следующие 3 минеральных вида:

Таблица 42. Семейство /4375

A	B	C	Основной анион	X <sub>2</sub>	Название	Символ
—	Mg <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	магнезнокуммингтонит	/437511
—	(Mg,Fe,Mn) <sub>7</sub>		Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	куммингтонит	/437512
—	Fe <sub>2</sub>	Fe <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	грюнерит	/437523

Все минеральные виды этого семейства имеют, кроме того, полиморфные модификации, кристаллизующиеся в пространственной группе *C2/m* без катиона типа А, т.е. в семействе /4373 (см. табл.40).

В учебной минералогической литературе часто фигурирует термин "роговые обманки". Под ним подразумеваются широко распространенные в природе твердые растворы, конечными продуктами которых являются такие минералы амфиболов как тремолит, чермакит, винчит, эденит, паргасит и др.

В седьмом семействе /4370 кристаллизуется один минерал не относящийся к амфиболам — это гидрат: ершовит —  $\text{Na}_4\text{K}_3(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}, \text{Ti})_2[\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2](\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  /437011

#### 2.5.4. Отряд /44. O:Si=19:7(2.71).

К этому отряду принадлежат два минеральных вида, имеющих разные структуры:

токкоит —  $\text{K}_2\text{Ca}_4[\text{Si}_7\text{O}_{18}(\text{OH})](\text{F}, \text{OH})$  /441111

тинаксит —  $\text{NaK}_2\text{Ca}_2\text{Ti}[\text{Si}_7\text{O}_{18}(\text{OH})]\text{O}$  /441211

#### 2.5.5. Отряд /45. O:Si=8:3(2.67).

К этому отряду принадлежат три минеральных вида:

бавенит —  $\text{Ca}_4\text{Be}_2\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{16}](\text{Si}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$  /451111

карлоструанит —  $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ti})_{21}[(\text{Si}, \text{Al})_{12}\text{O}_{28}(\text{OH})_4](\text{OH})_{30} \cdot \text{H}_2\text{O}$  /451011

ганофиллит —  $(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})_x\text{Mn}_8(\text{Si}, \text{Al})_{12}(\text{O}, \text{OH})_{32}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  /451021

Их ленты состоят из утроенных цепочек.

#### 2.5.6. Отряд /46. O:Si=5:2(2.50).

К этому отряду относится 9 минеральных видов, которые распределяются по подотрядам следующим образом: в подотряде /461 без дополнительных анионов — 2 минеральных вида (цектцерит, эмелесит); в /467 — с дополнительным F — 1 вид (канасит). Остальные минеральные виды являются гидратами /460 (эпидидимит, тухуалит, чароит, нафиртисит, кайсикхит, эльпидит). Распределение этих минеральных видов по промежуточным таксонам видно из итоговой таблицы 43.

Таблица 43. Минеральные виды отряда /46

Название	Формула	Символ
Цектцерит	$\text{LiNaZr}[\text{Si}_6\text{O}_{15}]$	/461111
Эмелеусит	$\text{LiNa}_2\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_6\text{O}_{15}]$	/461112
Канасит	$\text{Ca}_5\text{K}_3\text{Na}_3[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}](\text{F},\text{OH})_4$	/467111
Эпидидимит	$\text{Na}_2\text{Be}_2[\text{Si}_6\text{O}_{15}] \cdot \text{H}_2\text{O}$	/460111
Тухуалит	$(\text{Na},\text{K})_2\text{Fe}^{3+}\text{Fe}^{2+}[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}] \cdot \text{H}_2\text{O}$	/460121
Чароит	$\text{K}(\text{Ca},\text{Na})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH},\text{F}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	/460131
Нафертисит	$\text{Na}_3(\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+})_6\text{Ti}_2[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}](\text{O},\text{OH})_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	/460141
Кайсикхит	$(\text{Ca},\text{TR})\text{Y}_4[\text{Si}_8\text{O}_{20}](\text{CO}_3)_6(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	/460151
Эльпидит	$\text{Na}_2\text{Zr}[\text{Si}_6\text{O}_{15}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	/460161

В заключение отметим, что помимо шести отрядов, рассмотренных в подклассе ленточных силикатов (см. стр. 94), в основной таблице составов Si-O радикалов (рис. 3), для данного подкласса указано еще отношение Si:O, равное 8:21. Такого типа лента найдена в структуре ревдита (см. раздел 2.4.2., отряд /34), но она в этом минерале является дополнительным, а не основным кремне-кислородным радикалом.

## 2.6. Подкласс трубчатых силикатов 6142/5.

Этот подкласс очень беден минеральными видами. Они принадлежат к двум отрядам: /51 с отношением  $Si:O=2:5$ ;  $O:Si=2,5$  и /52  $Si:O=4:11$ ,  $O:Si=2,75$ .

Подотряды (третий индекс символа), как всегда, выделяется в основном по номеру подгруппы ПСХЭ для добавочного предпочитаемого химического элемента.

Минеральные виды подотряда /51 собраны в таблице 44.

Таблица 44. Трубчатые силикаты /51

Семейство	Род	Вид	Название и формула
/5111	/51111	/511111	фенаксит — $Na_2K_2Fe_2[Si_8O_{20}]$
		/511112	манаксит — $Na_2K_2Mn_2[Si_8O_{20}]$
		/511113	литидианит — $Na_2K_2Cu_2[Si_8O_{20}]$
/5141	/51411	/514111	майзерит — $KCa_5(Y,TR)[Si_6O_{15}](Si_2O_7)(OH)F$
/5161	/51611	/516111	нарсарсукит — $Na_4Ti_2[Si_8O_{20}]O_2$
/5171	/51711	/517111	агреллит — $NaCa_2[Si_4O_{10}]F$

У всех этих минералов минимальное сечение в трубках — 4 тетраэдра. Первые 4 из них кристаллизуются в триклинной сингонии, предпоследний — в тетрагональной и последний — в ромбической (рис. 9).

В отряде /52 один минерал пенквилксит —  $Na_4Ti_2[Si_4O_{11}]_2 \cdot 4H_2O$

Отнесение его в подкласс трубчатых силикатов несколько условно. Некоторые авторы (см. например [40], 3, вып. 3) предлагали относить пенквилксит к группе нарсарсукита и тем самым как бы рассматривать их в одном разделе. Структура этого минерала в то время не была до конца определена. В 1994 г. [90] структура пенквилксита была подробно исследована и оказалась совершенно необычной: спиральные цепи (Si-O)-тетраэдров образуют трубки с периодом повторяемости 6 тетраэдров, параллельные направлению [010] его ромбической решетки. Эти трубки

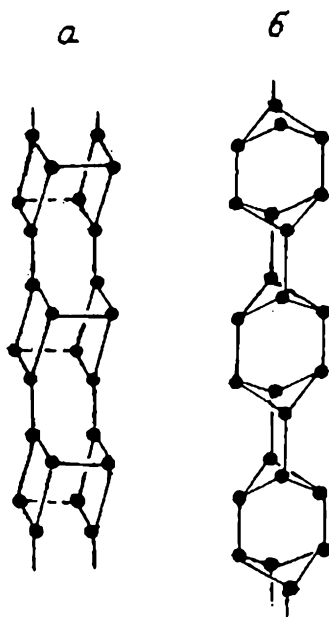


Рис. 9. Трубка в структурах: а — фенаксит; б — нарсарсукита

не изолированы друг от друга, а соединены общими вершинами в двухэтажный слой оригинальной конструкции, в результате чего состав кремнекислородного мотива оказался  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]$ , а не  $[\text{Si}_2\text{O}_5]$ , как у настоящих трубчатых силикатов. Такого рода трубчатые слои неизвестны у минералов подклассов слоистых силикатов /6, 7 и /8. У пенквилксита, по-существу, атомы кремния расположены не слоями, а образуют спиральные трубки. Поэтому мы классифицировали его как трубчатый силикат, выделив ему самостоятельный отряд /52. Символ пенквилксита /S21111.

## 2.7. Подкласс одноэтажных слоистых силикатов 6142/6.

Слоистые силикаты представляют собой один из наиболее обширных подклассов класса силикатов, особенно среди природных минералов. Слоистые силикаты составляют три подкласса. Принадлежность к тому или иному подклассу определяется этажностью тетраэдрического кремнекислородного слоя, а дальнейшее подразделение на отряды — разным отношением Si:O (или O:Si).

На настоящий момент слоистые силикаты представлены одноэтажными (6142/6), двухэтажными (6142/7) и трехэтажными (6142/8) подклассами. Разберем подкласс одноэтажных слоистых силикатов.

Прежде всего поясним, что означает термин "одноэтажный слой"; какие геометрические варианты, в нашем понимании, подразумеваются под ним. Простейший пример такого слоя мы имеем в

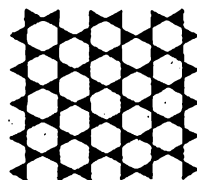


Рис. 10. Тетраэдрический слой в каолините и слюдах

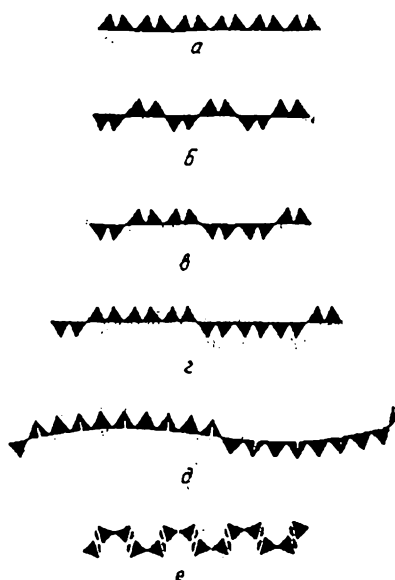


Рис. 11. Поперечные сечения одноэтажных слоёв: *a* — слюда; *b* — пентагонит; *в* — сепиолит; *г* — палыгорскит; *д* — антигорит; *е* — санборнит

структурах каолинита, слюды и др. (рис. 10), когда все тетраэдры направлены вершинами в одну сторону. В одном слое вершины одной группы тетраэдров могут быть направлены в противоположные стороны по отношению к другой группе (сепиолит, палыгорскит и др.) (рис. 11). Слой может быть плоским, как видно на упомянутых рисунках, волнистым (антигорит) и даже гофрированным (санборнит).

Правилом для двух последних случаев можно считать мысленное растяжение этих слоев перпендикулярно к волнам или складкам таким образом, чтобы тетраэдры расположились в одной плоскости. Во всех вариантах мы называем эти слои одноэтажными [14].

Подкласс одноэтажных слоистых силикатов 6142/6 делится на 5 отрядов по разным отношениям Si:O или O:Si.

Таблица 45. Деление подкласса 6142/6 на отряды

Si:O	O:Si	Символ отряда
5:14	2.80	/61
3:8	2.67	/62
2:5	2.50	/64
5:12	2.40	/65
3:7	2.33	/66

Структур сложных минералов, у которых отношение O:Si превышало бы величину 2.5, очень мало (пока известно только две), но возможно в будущем будут найдены еще какие-то — с другим соотношением, может быть даже более близким к трем. Чтобы в этом случае не менять индексацию во всем подклассе, мы сохраним индекс /63 для будущих находок, когда отношение O:Si < 3.0, но больше 2.5.

У первых двух отрядов более или менее точно определены структуры только по одному минеральному виду в каждом.

#### 2.7.1. Отряд /61, O:Si=14:5(2.80).

Цеофиллит —  $\text{Ca}_{13}[\text{Si}_5\text{O}_{14}]_2\text{F}_8(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Его тетраэдрический слой имеет 12-членные кольца, в которых вершина одного тетраэдра обращена в одну сторону, а у соседних трех тетраэдров — в противоположную. Его символ /611111.

#### 2.7.2. Отряд /62, O:Si=8:3(2.67).

Кванфьелдит —  $\text{Na}_4(\text{Ca},\text{Mn})[\text{Si}_3\text{O}_7(\text{OH})]_2$ . В его структуре гофрированные тетраэдрические слои, связанные друг с другом водородными связями. Между слоями располагаются катионы Na и Ca. Слои сложены цепочками состава  $\text{SiO}_3$  с периодом повторяемости 4 тетраэдра, вытянутыми вдоль оси c. Эти цепочки расположены в слое на двух уровнях с образованием неправильных восьмичленных колец. Его символ /621111.

#### 2.7.3. Отряд /64, O:Si=5:2(2.50).

В предыдущих подклассах мы делили отряды на подотряды по добавочным предпочитаемым анионам в ПСХЭ.

В этом отряде (как и во всем подклассе одноэтажных слоистых силикатов) химические составы минеральных видов очень близки. У подавляющего большинства минеральных видов в качестве дополнительных анионов присутствует гидроксил, а многие из них являются гидратами, поэтому дальнейшую их классификацию по химическим признакам вести нецелесообразно (невозможно). Для этой цели в



этом отряде лучше уже на этом этапе воспользоваться геометрическими особенностями их структур. Мы предлагаем для деления этого отряда на подотряды воспользоваться наличием в слое  $n$ -членных пустых колец (см. табл. 46).

Таблица 46. Деление отряда /64 на подотряды

Конфигурация колец	Символ подотряда
6-членные	/641
8- и 4-членные	/642
8- и 5-членные	/643
8-, 6- и 4-членные	/644
12-, 8- и 4-членные	/645

Наиболее распространенным типом слоя является слой, состоящий из шестичленных колец. На каждое кольцо приходится 2 атома Si, а число атомов кислорода, приходящихся на каждый атом Si, равно  $2^{1/2}$  (три  $^{1/2}$  O с соседними в слое атомами Si и 1 атом индивидуальный, неразделенный, принадлежащий только этому атому кремния). Состав кольца будет  $Si_2O_5$  ( $O:Si=2.5$ ). Если же кольца будут состоять из большего (чем 6) числа Si-O тетраэдров, то и отношение  $O:Si$  в слое тоже возрастет, т.к. увеличится число индивидуальных атомов кислорода. Так, например, если слой состоит из восьмичленных колец, то на такое кольцо будет приходиться 3 атома Si: два — типа А и один — типа Б (рис. 12).

На Si типа А будет приходиться по  $2^{1/2}$  атома кислорода, а на тип Б — три, т.е. одно восьмичленное кольцо будет иметь состав  $Si_3O_8$  ( $O:Si=2.67$ ). Если слой будет состоять из 12-членных колец, то его состав будет 5:14 ( $O:Si=2.80$ ).

Эта величина  $O:Si$  может сколько угодно близко приблизиться к трем, но никогда не сможет достичь этого предела, т.к. в этом случае вместо слоя окажутся отдельные цепочки или изолированные кольца.

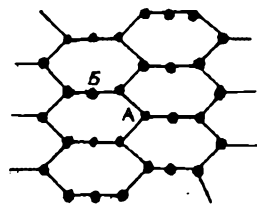


Рис. 12. Одноэтажный слой из 8-членных колец

### 2.7.3.1. Подотряд /641. Слой с шестичленными кольцами.

Он делится на 8 семейств по сочетанию тетраэдрических слоев с октаэдрическими (рис. 13).

Таблица 47. Деление подотряда на семейства

Символ	Название семейства	Характеристика семейства	Рис.13 (а-з)
/6411	санборнита	гофрированный тетраэдрический слой и межслоевые катионы	(а)
/6412	пальгорскита-сепиолита	тетраэдрический слой и октаэдрические ленты	(б)
/6413	каолинита-серпентина	пакет из тетраэдрического и октаэдрического слоев	(в)
/6414	чапманита	пакет как у предыдущего семейства и межпакетные катионы	(г)
/6415	талька-пирофилита	пакет из двух тетраэдрических и одного октаэдрического слоя	(д)
/6416	слюды	пакет как у предыдущего семейства и межпакетный катион	(е)
/6417	хлорита	пакет как у предыдущего семейства и дополнительный октаэдрический слой	(ж)
/6418	смектита	пакет как у предыдущего семейства и дополнительные обменные катионы и H <sub>2</sub> O	(з)
/6419	смешанослойные	пакет из разных слоев	—

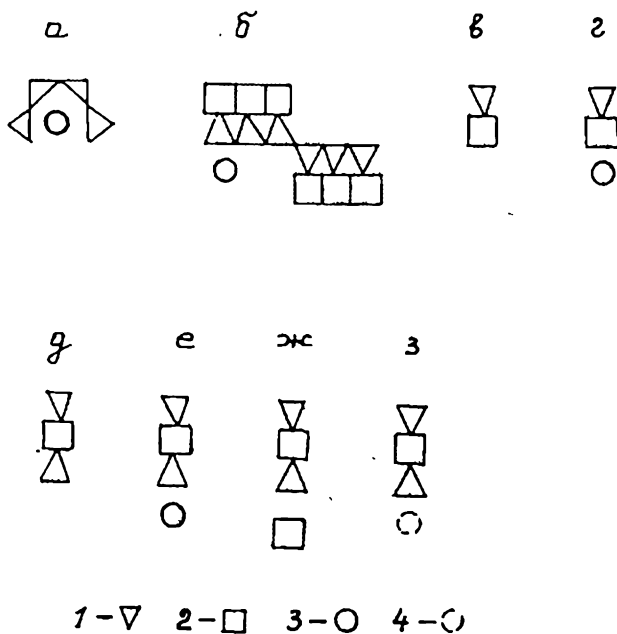


Рис. 13. Деление подотряда /641 с 6-членными кольцами на семейства

### 2.7.3.1.1. Семейство /6411 (санборнита).

Это семейство с гофрированными тетраэдрическими слоями и без октаэдрических слоев. К нему относятся 4 минеральных вида, которые являются самостоятельными родами (см. табл. 48)

Таблица 48. Семейство санборнита /6411

Род	Вид	Название и формула	Симметрия
/64111	/641111	санборнит — $Ba[Si_2O_5]$	ромб. $Pm\bar{c}n$
/64112	/641121	натросилит — $Na_2[Si_2O_5]$	мон. $P2_1/a$
/64113	/641131	петалит — $LiAl[Si_4O_{10}]$	мон. $P2_1/a$
/64114	/641141	макатит — $Na[Si_2O_4(OH)]$	мон. $P2_1/c$

В структуре петалита Li и Al с кремнием изоморфных смесей не образуют, т.е. занимают в структуре вполне определенные места. Если Al включить в кремне-кислородный мотив, то структуру петалита придется считать каркасной и соответственно его химическую формулу писать —  $Li[Si_4AlO_{10}]$ .

### 2.7.3.1.2. Семейство /6412 (пальгорскита-сепиолита).

В его тетраэдрическом слое вершины половины тетраэдров направлены лентами в одну сторону, а вторая половина — в противоположную. К этим лентам примыкают октаэдры (ленты идут в направлении с ячейки). Ширина этих лент (т.е. число в них тетраэдров) у разных минералов разное. Так, у пальгорскитов лента составлена из двух пироксеновых цепочек, а у сепиолитов — из трех. Часто молекула воды входит в октаэдрические ленты, а другая часть  $H_2O$  располагается между этими лентами. Эти молекулы воды легко удаляются из структуры, поэтому их часто называют "цеолитной" водой. Число этих молекул воды в составе минералов может быть поэтому различным. К этому семейству относится 8 минеральных видов. Все они являются гидратами.

Таблица 49. Семейство /6412 пальгорскита-сепиолита

Род	Вид	Название и формула	Симметрия
/64121	/641211	$\beta$ -пальгорскит — $(Mg,Al)_5[Si_8O_{20}](OH)_2(H_2O) \cdot nH_2O$	$Pbmn$
	/641212	$\beta$ -сепиолит — $Mg_8[Si_{12}O_{30}](OH)_4(H_2O)_4 \cdot 8H_2O$	$Pn\bar{c}n$
/64122	/641222	фалкондоит — $(Ni,Mg)_8[Si_{12}O_{30}](OH)_4(H_2O)_4 \cdot 8H_2O$	—
	/641223	лохлинит — $Na_4Mg_6[Si_{12}O_{30}](OH)_4(H_2O)_4 \cdot nH_2O$	$Pn\bar{c}n$
/64123	/641231	пентагонит — $(Ca(VO)[Si_4O_{10}] \cdot 4H_2O)$	$Ccm2_1$
/64124	/641241	$\alpha$ -пальгорскит — $(Mg,Al)_5[Si_8O_{20}](OH)_2(H_2O)_4 \cdot nH_2O$	$C2/m$
	/641242	гуперссуатсиант — $NaFe_3[Si_8O_{20}](OH)_2(H_2O)_4 \cdot H_2O$	$C2/m$
/64125	/641251	$\alpha$ -сепиолит — $Mg_8[Si_{12}O_{30}](OH)_4(H_2O)_4 \cdot 8H_2O$	$C2/m$

В структуре пентагонита группа (VO) существует как самостоятельная единица среди катионов.

### 2.7.3.1.3. О политипии минералов.

Прежде чем переходить к следующему семейству /6413, коснемся вопроса о политипии минералов, т.к. в этом семействе мы впервые встречаемся с большим количеством политипов. Поскольку политипы отличаются друг от друга симметрией и структурными типами, постольку каждый политип является отдельным родом. По этой причине такое семейство можно делить по его политипам.

Так как политипов очень много, то близкие из них целесообразно объединять в один род и различать конкретные минералы уже деля этот род на минеральные виды.

В рамках одного рода последовательность минеральных видов будем устанавливать по симметрии — от высшей к низшей. В этом семействе встречаются политипы, принадлежащие к гексагональной сингонии; они обозначаются буквами Н или О; к тригональной (в частности, к ромбоэдрическим видам симметрии), которые обозначаются буквами Т (или R); моноклинные политипы обозначаются буквой М; триклинные — Тк. Цифры перед и после этих букв обозначают детали — часто пространственные группы симметрии. Например  $2Н_1$  или  $2О—P63m$ ,  $2Н_2—P63$ ,  $1Т—P3_1$ ,  $2Т—P63m$ ,  $R—R3_1$ ,  $1М—Cm$ ,  $2М_1—Cc$ ,  $1Тк—P1$ . Подробное изложение теории политипии опубликовано Б.Б.Звягиным [31].

Дело в том, что разные политипы присутствуют одновременно в тесном прорастании одного образа минерала. По этой причине в минералогии часто они и воспринимаются совместно, как один минерал, и ему приписывается одно название. В таких случаях выделение минерального вида по преобладающему политипу без классификации минералов является вполне достаточным для подавляющего числа минералов. Второстепенные (менее распространенные политипы) достаточно просто упомянуть. Все их физические характеристики настолько незначительно отличаются друг от друга, что пренебречь ими в минералогии, вероятно, целесообразно.

Часто политипная модификация не указывается даже при исследовании структуры минералов, поэтому наряду с разными политипами, которым иногда все же даются разные названия, фигурируют минералы без указания их политипных модификаций. Это название продолжает до настоящего времени фигурировать в минералогической литературе наряду с минералами того же состава, но для которых приведены их политипные обозначения. Все это приводит в большой путанице, мешающей в настоящее время решить проблему их номенклатуры.

Как видно из указанного выше, в минералогической литературе нет единого мнения по этому вопросу. Приведу один пример для

минералов состава  $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$ . С этим составом в минералогической литературе фигурируют три минерала: антигорит, лизардит и хризотил. В 1936 г. В.Н.Лодочников [40] предложил вместо этих трех названий именовать их "серпентином", т.е. считать одним минералом. Однако это название иногда стало фигурировать как название группы (см. Г.Штрунц [103], с. 456), в которую входят эти три минерала. Ф.В.Чухров [40] в 4, вып. 2 на стр. 126 пишет: "Ввиду близости состава, свойств, условий образования и нахождения в природе, а также невозможности индивидуализировать лизардит, хризотил и антигорит, по большей части более ранних и по многим современным литературным данным описание этих минералов дается совместно".

Эта цитата дает основание присоединиться к точке зрения В.Н.Лодочникова и считать все их одним минералом — серпентином.

Другое дело, что этот минерал имеет много политипных модификаций и каждая из них естественно может считаться минеральным видом. В 1993 г. А.М.Кларк [72], учитывая политипию хризотила, предложил три его модификации именовать ортохризотил, парахризотил и клинохризотил. К сожалению, в этом предложении ничего не говорится об антигите и хризотиле. Кроме того, число полимерных модификаций у  $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$  больше, чем три, и не учитывая всех полимеров, мы полностью не охватываем эту номенклатурную проблему.

В качестве выхода из создавшегося положения мы предлагаем в тех случаях, когда в литературе для одной политипной модификации приводятся примеры всех трех названий (или двух из них), то в соответствующих таблицах помещать их рядом, но давать им один общий десятичный индекс. Как это, например, имеет место для политипа 1М (см. табл. 50). Если же для какой-то другой модификации в литературе упоминается только одно из трех названий (например, хризотил-2М<sub>1</sub> или лизардит-1Т), то приводить это название, чтобы не затруднять читателя в поисках соответствующей литературной ссылки.

Конечно, лучше всего было признать предложение В.Н.Лодочникова, упомянутое выше. Но чтобы не вносить еще большей путаницы в номенклатуру столь важных минералов, мы делать этого не будем. Вероятно, целесообразно обсудить этот вопрос на международном уровне.

Если мы при составлении таблиц, где в качестве рода использовались наименования политипов, находили в литературе минерал без указания политипа, то мы его в таблицу не включали (если в

ней уже был хотя бы один минерал того же названия с указанием какого-либо политипа). Конечно, это могло привести к потере какого-то минерального вида, но зато исключало случаи, когда один и тот же минеральный вид получал два разных десятичных символа.

Важный вопрос для классификации слоистых силикатов — целесообразность использовать явление политипии, своеобразного варианта понятия полиморфизм.

Если полиморфные модификации одного состава безусловно принадлежат к разным структурным типам (т.е. к разным родам), то это не является само собой разумеющимся случаем для полиморфных модификаций. Б.Б.Звягин так определяет понятие политипизма [32]: "Политипизм — это разнообразие кристаллических структур, состоящих из одинаковых слоев одного или нескольких типов, обусловленное наличием нескольких кристаллохимических и (или) геометрически эквивалентных вариантов взаимного расположения слоев, при сохранении единого порядка чередования последних".

Идея различать понятия политипии и полиморфизма представляется нам правильной и рациональной. Нельзя эти термины считать синонимами. Разница между ними может быть очень существенной. Ведь политипные модификации, как правило, существуют в одном и том же образце минерала в тесном прорастании друг с другом, что никогда не наблюдается среди нормальных полиморфных модификаций. Более того, в образце, где присутствуют несколько политипных модификаций, у некоторых из них существуют на границе между ними общие плоскости, которые с равным основанием можно отнести как к одной, так и к сросшейся с нею другой политипной модификации. Такого случая у полиморфных модификаций быть не может. Нельзя себе представить общую плоскость, скажем, у алмаза и графита, как и у пирита и марказита.

Обычные полиморфные модификации всегда характеризуются разными структурными типами и, соответственно принятой классификации, принадлежат к разным родам. Такая однозначность вряд ли целесообразна для случая политипии. Более того, поскольку политипные модификации присутствуют в тесном прорастании в образцах того или иного минерала, поскольку их можно трактовать и как существование отдельных индивидов данного вида.

Вопрос о минеральных индивидах в минералогии практически отсутствует, т.к. он не играет сколько-нибудь существенной роли для классификации минералов. Однако нельзя сказать, что он вообще не существует для теоретической минералогии. Как говорилось выше, сопоставлять классификацию минералов следует с классификацией в биологических науках. В них вопрос об индивидах явля-

ется само собой разумеющимся понятием: одна собака, одна ворона, один дуб, одна сосна и т.д. Свойства индивидов далеко не всегда связаны со свойствами вида, если эти свойства не присущи всем индивидам данного вида. Поэтому нельзя классификацию видов проводить по индивидуальным свойствам индивидов. Аналогично обстоит вопрос с индивидами минеральных видов. Для их исследования, с нашей точки зрения, целесообразно использовать общую теорию систем [9].

Основная задача в этом направлении состоит в том, чтобы связать учение о минеральных видах с учением о политипии и общей теорией систем.

Второй вопрос, который мы хотим обсудить до перечисления всех видов, касается три- и диоктаэдрических катионов. Минералы этого подотряда (и некоторых других) часто различают по следующему признаку: заняты ли в октаэдрическом слое все 3 места или 2 из трех. Мы этот признак тоже используем и в каждом случае соблюдаем такую последовательность: вначале выписываем минералы триоктаэдрические, а затем диоктаэдрические. Их совместное рассмотрение может быть оправдано тем, что ди- и триоктаэдрические минералы близкого состава часто образуют между собою твердые растворы. Для их четкого разграничения в этом случае целесообразно использовать 50%-ный предел.

#### 2.7.3.1.4. Семейство /6413 (каолинита-серпентина).

Структуры минералов этого семейства состоят из пакетов тетраэдрического слоя и примыкающего к нему октаэдрического слоя. Минеральные виды семейства /6413 собраны в табл. 50.

У антигорита кроме моноклинных модификаций есть ортоантигорит (гексагональный) (а сам антигорит называется клиноантигоритом). У лизардита есть тригональная модификация (пр. гр. *P31m*). Ф.В.Чухров [40] рассматривает все эти три минерала вместе.

Ортоантигориту можно приписать символ /641381, а тригональной модификации лизардита /641391.

В роде /64131 под одним номером вида упомянуты антигорит, лизардит и хризотил. Причина этого изложена подробно выше. Поскольку они друг от друга неотличимы, постольку их даже нельзя назвать разновидностями одного и другого. В литературе они часто фигурируют с разными поли типами.

Следующие три минерала также являются одним минеральным видом, но кронштедтит и бертьерин рационально считать разновидностями гриналита.

Таблица 50. Семейство серпентина-каолинита

Род пол-тип	Вид	Название и формула	Политип
/64131	/641311	хризотил — $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$	2O
	/641312	кариопилит — $Mn_3[Si_2O_5](OH)_4$	2O
	/641313	бертьерин — $(Fe^{2+}, Mg, Al, Fe^{3+})_3[(Si, Al)_2O_5](OH)_4$	2O
/64132	/641321	амезит — $(Mg, Al)_3[(Si, Al)_2O_5](OH)_4$	2H <sub>2</sub>
	/641322	кроншtedтит — $(Fe^{2+}, Fe^{3+})_3[(Si, Fe^{3+})_2O_5](OH)_4$	2H <sub>2</sub>
	/641323	галлуазит — $Al_2[Si_2O_5](OH)_4 \cdot 2H_2$	2H <sub>2</sub>
	/641324	амезит — $(Mg, Al)_3[(Si, Al)_2O_5](OH)_4$	6H
	/641325	келлиит — $Mn_2Al[(Si, Al)_2O_5](OH)_4$	6H
	/641326	фрепонтит — $(Zn, Al)_3[(Si, Al)_2O_5](OH)_4$	6H
/64133	/641331	лизардит — $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$	1T
	/641332	грицалит, разн. кроншtedтит — $(Fe^{2+}, Fe^{3+})_3[(Si, Fe^{3+})_2O_5](OH)_4$	1T
	/641333	непуит — $Ni_3[Si_2O_5](OH)_4$	1T
	—	бриндлейит разн. — $(Ni_{1.75}, Al_{0.25})[Si_{1.5}Al_{0.5}O_5](OH)_4$	1T
	/641334	баумит — $(Mg, Mn^{2+}, Fe^{3+}, Zn)_3[(Si, Al)_2O_5](OH)_4$	1T
	/641335	кроншtedтит — $(Fe^{2+}, Fe^{3+})_3[(Si, Fe^{3+})_2O_5](OH)_4$	2T
/64134	/641341	лизардит — $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$	3T
	/641342	кроншtedтит — $(Fe^{2+}, Fe^{3+})_3[(Si, Fe^{3+})_2O_5](OH)_4$	3T
	/641343	бриндлейит — $(Ni_{1.75}, Al_{0.25})[Si_{1.5}Al_{0.5}O_5](OH)_4$	3T
	/641344	амезит — $(Mg, Al)_3[(Si, Al)_2O_5](OH)_4$	6R <sub>1</sub>
	/641345	кроншtedтит — $(Fe^{2+}, Fe^{3+})_3[(Si, Fe^{3+})_2O_5](OH)_4$	6R <sub>2</sub>
/64135	/641351	антигорнт — $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$	1M
	—	лизардит — $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$	1M
	—	хризотил — $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$	1M
	/641352	гринналит — $Fe_3[Si_2O_5](OH)_4$	1M
	/641353	бертьерин — $(Fe^{2+}, Mg, Al, Fe^{3+})_3[(Si, Al)_2O_5](OH)_4$	1M
	/641354	кроншtedтит — $(Fe^{2+}, Fe^{3+})_3[(Si, Fe^{3+})_2O_5](OH)_4$	1M
	/641355	каолинит — $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$	1M
	/641356	бриндлейит — $(Ni_{1.75}, Al_{0.25})[Si_{1.5}Al_{0.5}O_5](OH)_4$	1M
/64136	/641361	хризотил — $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$	2M <sub>1</sub>
	/641362	непуит — $Ni_3[Si_2O_5](OH)_4$	2M <sub>1</sub>
	—	пекорант — $Ni_3[Si_2O_5](OH)_4$	2M <sub>1</sub>
	/641363	кроншtedтит — $(Fe^{2+}, Fe^{3+})_3[(Si, Fe^{3+})_2O_5](OH)_4$	2M <sub>1</sub>
	/641364	фрепонтит — $(Zn, Al)_3[(Si, Al)_2O_5](OH)_4$	2M <sub>1</sub>
	/641365	днккит — $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$	2M <sub>1</sub>
	/641366	накрит — $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$	2M <sub>2</sub>
/64137	/641371	каолинит — $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$	1T <sub>κ</sub>



Антигорит имеет кроме моноклинных модификаций еще гексагональную — ортоантигорит /641391.

Во всех описанных ранее подклассах, отрядах и подотрядах разновидности мы в таблицы не вносили, а упоминали их в тексте после соответствующих таблиц. В данном случае они помещены в таблицу, потому что у них найдены другие политипы кроме гриналита.

#### 2.7.3.1.5. Семейство /6414 (чапманита).

Структуры этих минералов содержат пакеты из тетраэдрического и октаэдрического слоев того же строения, как у предыдущего семейства, но вместо  $(OH)_4$  они содержат  $O_3(OH)$  и, соответственно, вместо нейтральных пакетов семейства /6413 эти пакеты имеют три отрицательных заряда, которые компенсируются соответствующими положительными ионами ( $Sb^{3+}$  и  $Bi^{3+}$ ), находящимися между пакетами. К этому семейству относятся только два минерала, принадлежащие к одному роду и к одному политипу (1M):

чапманит —  $Fe_2^{3+}[Si_2O_5]O_3(OH)Sb^{3+}$  /641411 и

бисмутоферрит —  $Fe_2^{3+}[Si_2O_5]O_3(OH)Bi^{3+}$  /641412.

#### 2.7.3.1.6. Семейство /6415 (талька-пирофиллита).

В этом семействе пакеты состоят из октаэдрического слоя, к которому с двух сторон присоединяются тетраэдрические слои. Минералы этого семейства собраны в таблице 51.

Таблица 51. Семейство талька-пирофиллита /6415

Род	Вид	Название и формула	Политип
/64151	/641511	тальк — $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	2M <sub>1</sub>
	/641512	пирофиллит — $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$	2M <sub>1</sub>
	/641513	феррипирофиллит — $Fe_2[Si_4O_{10}](OH)_2$	2M <sub>1</sub>
	/641514	уиллемсеит — $(Ni,Mg)_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	2M <sub>1</sub>
/64152	/641521	тальк — $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	1T <sub>K</sub>
	/641522	пирофиллит — $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$	1T <sub>K</sub>

#### 2.7.3.1.7. Семейство /6416 (слюды).

Это семейство имеет такие же пакеты, как в предыдущем семействе, но они не нейтральны, а имеют один отрицательный заряд, который компенсируется одновалентным крупным катионом — К или Na, находящимися между пакетами.

Семейство слюд делится на 6 родов.

В таблице 52 собраны триоктаэдрические и диоктаэдрические слюды, кристаллизующиеся в политипе 3T.

Таблица 52. Минеральные виды слюды политипа 3Т

Род	Вид	Название и формула
/64161	/641611	флогопит — $\text{KMg}_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$
	/641612	биотит — $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$
	/641613	монтдорит — $\text{K}(\text{Fe}^{2+},\text{Mn},\text{Mg})_{2.5}[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$
	/641614	циннвальдит — $\text{KLi}(\text{Fe}^{2+},\text{Al})_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$
	—	протолитионит — $\text{K}(\text{Fe}_2\text{O}^{2+}\text{Li}_{0.5}\text{Al}_{0.5})[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$
	/641615	политионит — $\text{KLi}_2\text{Al}[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$
	—	лепидолит — $\text{KLi}_{1.5}\text{Al}_{1.5}[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$
	/641616	хендриксит — $\text{K}(\text{Zn},\text{Mn},\text{Mg})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$
/64162	/641621	мусковит — $\text{KA}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$
	—	фенгит — $\text{KA}_{1.5}(\text{Mg},\text{Fe})_{0.5}[\text{Si}_{3.5}\text{Al}_{0.5}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$
	/641622	парагонит — $\text{NaAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$

Строго говоря, биотит является разновидностью флогопита. Однако поскольку оба они в природе очень широко распространены и практически во всей минералогической литературе фигурируют как отдельные минералы, то вероятно, в виде исключения, целесообразно приписать им разные десятичные символы.

В таблице 53 собраны три- и диоктаэдрические слюды, кристаллизующиеся в политипе 1М.

В таблице 54 собраны слюды политипных модификаций 2М<sub>1</sub>, 2М<sub>2</sub> и 2М<sub>3</sub>.

Прочерк в графе "вид" показывает, что название, написанное в следующей графе, соответствует разновидности минерала.

В семействах /6413 — /6416 мы использовали для классификации идею политипии. Это сделано потому, что именно для этих минералов она широко разработана и поэтому может быть рационально использована. Однако, как сказано выше (на страницах, специально посвященных вопросам политипии), каждый политип может рассматриваться не только как род, т.е. таксон, стоящий выше вида, но и как индивид, т.е. таксон, стоящий ниже вида и использующийся, по крайней мере, как синоним термину разновидность.

Поскольку вопрос о минеральных индивидах очень мало изучен, постольку не совсем ясны перспективы теории политипии для широкого использования в классификации. Ведь кажется, теория ОД-структур совсем не используется для классификации минералов, хотя оснований для ее игнорирования также нет.

Применение теории политипии для классификации, как это сделано в названных выше семействах, можно рассматривать как один из возможных ее вариантов для дальнейшей дискуссии этой проблемы.

Таблица 53. Минеральные виды слюды — политипа 1М

Род	Вид	Название и формула
/64163	/641631	аннит — $KFe_3^{2+}[Si_3AlO_{10}](OH)_2$
—	—	феррианнит — $KFe_3^{2+}[Si_3Fe^{3+}O_{10}](OH)_2$
—	—	сидерофиллит — $K(Fe^{2+}, Al)_3[Si_3AlO_{10}](OH, F)_2$
—	—	протолитионит — $K(Fe_2O^{2+}Li_{0.5}Al_{0.5})[Si_3AlO_{10}](F, OH)_2$
—	—	монтдорит — $K(Fe^{2+}, Mn, Mg)_2.5[Si_4O_{10}](OH, F)_2$
	/641632	циннвальдит — $K(Fe^{2+}, Al)_2Li[Si_3AlO_{10}](F, OH)_2$
	/641633	политионит — $KLi_2Al[Si_4O_{10}](F, OH)_2$
—	—	лепидолит — $KLi_{1.5}Al_{1.5}[Si_3AlO_{10}](F, OH)_2$
—	—	масутомилит — $K(Li, Mn, Fe^{2+}, Al)_3(Si, Al)_4O_{10}(F, OH)_2$
—	—	флогопит — $KMg_3[Si_3AlO_{10}](OH, F)_2$
	/641633	биотит — $K(Mg, Fe^{2+})_3[Si_3AlO_{10}](OH, F)_2$
—	—	тетраферрифлогопит — $KMg_3[Si_3Fe^{3+}O_{10}](OH, F)_2$
—	—	манганофиллит — $K(Mg, Mn, Fe)_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2$
—	—	тайниолит — $KMg_2Li[Si_4O_{10}](F, OH)_2$
	/641634	норришит — $KMn_2^{2+}Li[Si_4O_{10}]O_2$
	/641635	хендриксит — $K(Zn, Mn, Mg)_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2$
	/641636	эфесит — $NaAl_2Li[Si_2Al_2O_{10}](OH)_2$
/64164	/641641	парагонит — $NaAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2$
	/641642	селадонит — $KMgFe^{3+}[Si_4O_{10}](OH)_2$
	/641643	лейкофиллит — $KMgAl[Si_4O_{10}](OH)_2$
	/641644	глауконит — $K(Fe^{3+}, Al)_{1.33}(Mg, Fe^{2+})_{0.67}[Si_{3.67}Al_{0.33}O_{10}](OH)_2$
	/641645	мусковит — $KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2$
—	—	фенгит — $KAl_{1.5}(Mg, Fe)[Si_{3.5}Al_{0.5}O_{10}](OH)_2$
—	—	иллит — $K_{0.75}(Al_{1.75}R_{0.25}^{2+})[Si_{3.5}Al_{0.5}O_{10}](OH)_2$
—	—	эллахерит — $(K, Ba)(Al, V, Mg)_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2$
	/641646	боромусковит — $KAl_2[Si_3BO_{10}](OH)_2$
	/641647	роскоэлит — $K(V, Al)_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2$
	/641648	тобелит — $(NH_4, K)Al_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$

Таблица 54. Минеральные виды слюды — политипы 2M<sub>1</sub>, 2M<sub>2</sub> и 2M<sub>3</sub>.

Род	Вид	Название и формула	Политип
/64165	/641651	прайссерит — $\text{NaMg}_2\text{Al}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641652	эфесит — $\text{NaAl}_2\text{Li}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641653	полилитинит — $\text{KLi}_2\text{Al}[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	—	лепидолит — $\text{KLi}_{1,5}\text{Al}_{1,5}[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641654	флогопит — $\text{KMg}_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641655	биотит — $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641656	циннвальдит — $\text{KLi}(\text{Fe}^{2+},\text{Al})_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641657	хендриксит — $\text{K}(\text{Zn},\text{Mn},\text{Mg})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641658	лепидолит — $\text{KLi}_{1,5}\text{Al}_{1,5}[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$	2M <sub>2</sub>
	/641659	лепидолит — $\text{KLi}_{1,5}\text{Al}_{1,5}[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$	2M <sub>3</sub>
/64166	/641661	парагонит — $\text{NaAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	—	браммалит — $(\text{Na},\text{K})\text{Al}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641662	мусковит — $\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	—	иллит — $\text{K}_{0,75}(\text{Al}_{1,75}\text{R}_{0,25}^{2+})[\text{Si}_{3,50}\text{Al}_{0,50}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	—	фенгит — $\text{KAl}_{1,5}(\text{Mg},\text{Fe})_{0,5}[\text{Si}_{3,5}\text{Al}_{0,5}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	—	фуксит — $\text{K}(\text{Al},\text{Cr})_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	—	эллахерит — $(\text{K},\text{Ba})(\text{Al},\text{V},\text{Mg})_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641663	боромусковит — $\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{BO}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641664	роскоэлит — $\text{K}(\text{V},\text{Al})_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641665	наньпингит — $\text{CsAl}_2[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641666	черныхит — $(\text{Ba},\text{Na},\text{K})(\text{V}^{3+},\text{Al})_2[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>1</sub>
	/641667	мусковит — $\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>2</sub>
	—	гидромусковит — $(\text{K},\text{H})\text{Al}_2[\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>2</sub>
	—	фенгит — $\text{KAl}_{1,5}(\text{Mg},\text{Fe})_{0,5}[\text{Si}_{3,5}\text{Al}_{0,5}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>2</sub>
	/641668	тобелит — $(\text{NH}_4,\text{K})\text{Al}_2[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	2M <sub>2</sub>

### 2.7.3.1.8. Семейство /6417 (хлоритов).

Хлориты отличаются от слюд тем, что в межпакетном промежутке вместо одноатомных катионов у них находится октаэдрический слой бруситового или гидраргиллитового строения. Все слои перпендикулярны оси с их кристаллов.

Общая формула хлорита может быть представлена в виде  $\text{Me}^+(\text{Me}^{2+}, \text{Me}^{3+})_{4-6}[\text{T}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ , где  $\text{M}=\text{Li}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{B}, \text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}^{3+}$ , а  $\text{T}=\text{Si}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+}$ . Атомы Al располагаются в октаэдрических позициях, атомы T — в тетраэдрических. Целесообразно рассматривать состав хлоритов отдельно по их пакетам: слюдному и брусито-гидраргиллитовому, т.е.  $\text{Me}_2\text{-}3[\text{T}_4\text{O}_{10}]\text{OH}$  и  $\text{Me}_2\text{-}3(\text{OH})_6$ .

В минералогической литературе обычно дается общая химическая формула. Например, для кукеита —  $\text{LiAl}_4[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_8$  (см. [40] 4, вып. 2, стр. 161). Однако для классификации гораздо удобнее

знать состав каждого октаэдрического слоя и соответственно писать химическую формулу. Для куккеита это будет так:

$Al_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot LiAl_2(OH)_6$  (см. [103], стр. 448). Из этого примера видно, что октаэдрический слой, лежащий между двумя тетраэдрическими (будет называть его основным), является диоктаэдрическим, а свободный (дополнительный) является триоктаэдрическим.

К сожалению, в экспериментальных работах, где исследуется атомная структура хлоритов, далеко не всегда указывается, в каком конкретно октаэдрическом слое располагаются те или иные катионы. Классифицируя хлориты по родам и видам, мы в первую очередь будем учитывать состав основного октаэдрического слоя и соответственно приводить в итоговой таблице 55 формулы по Штрунцу [103]. И только если не удастся найти в литературе соответствующее написание формул, мы приводим лишь суммарную. Важно еще отметить, что дефектное строение хлоритов в основном связано с несовершенством дополнительного октаэдрического слоя. Часто в литературе приводятся формулы с дробными коэффициентами, чтобы показать пределы конкретно существующих минералов. Например, состав кремнекислородного мотива для пеннина у Г. Штрунца [103] (стр. 450) пишется так:  $[Si_{3.5-3.1}Al_{0.5-0.9}O_{10}]$ . Для классификации этот факт большой роли не играет, поэтому в итоговых таблицах мы всегда будем такие составы округлять до целых значений коэффициентов, т.е. вместо приведенного выше писать  $[Si_3AlO_{10}]$ .

Большинство хлоритов являются триоктаэдрическими минералами, в структуре которых катионами заполнены все октаэдрические позиции. Структуры хлоритов часто изобилуют различными дефектами, при этом слюдяные пакеты подвержены дефектам значительно меньше, чем бруситовые, поэтому классифицировать хлориты целесообразно по их "слюдяным пакетам". Как пишет Ф.В. Чухров [40] (4, вып. 2), в хлоритах возможно огромное разнообразие политипных модификаций, различающихся способами наложения отдельных сеток в структуре. На рис. 14 показана схематическая диаграмма относительного положения тетраэдрических и октаэдрических сеток в шести группах политипов хлоритов (по Широу и Бейли [98]). Только для двухпакетных хлоритов теоретически выведено 1134 политипа (см. Листер и Бейли [80]). Читателю, интересующемуся теорией политипии, можно рекомендовать книгу Б.Б. Звягина [31].

Из сказанного выше ясно, что использовать детали учения о политипии для классификации данного семейства минералов практически невозможно — число политипов только для этой группы минералов превысит число всех минералов в природе, известных к настоящему времени. Эти вопросы представляют, скорее, геометри-

ческий интерес, а не минералогический. По этой причине мы будем использовать для систематики минералов группы хлорита те принципы, которыми мы пользовались для всех разделов силикатов, предшествовавших слюдам. Это можно оправдать тем, что хлоритов немного.

Вермикулит помещен нами в это же семейство.

В таблице 55 собраны минеральные виды семейства хлоритов /6417.

Структура вермикулита тоже может быть отнесена к триоктаэдрическому. Однако ей дается особый род, т.к. от всех смектитов она отличается удвоенным параметром  $c \sim 29\text{Å}$  и пространственной группой —  $C2/c$ .

№ п/п	Обозначения по Бейли и Брауну [5]	Обозначения по Зюлгиу [8]	Пр. гр.	$\beta$ или $\alpha^\circ$
1.	11b-2	$\sigma_6 \tau_6 \sigma_6$	$C2/m$	$\beta$ 97
2.	11b-4	$\sigma_2 \tau_4 \sigma_6$	$C\bar{1}$	$\beta$ 97
3.	11a-1	$ \sigma_3   \tau_0   \sigma_3  $	$C2/m$	$\beta$ 97
4.	11a-3	$ \sigma_3   \tau_+   \sigma_3  $	$C\bar{1}$	$\beta$ 97
5.	11a-2	$\sigma_6   \tau_3 \sigma_6  $	$Cm$	$\beta$ 90
6.	11a-4	$\sigma_6   \tau_1 \sigma_6  $	$C\bar{1}$	$\alpha$ 102
7.	1b-1	$\sigma'_6 \tau_3 \sigma'_6$	$C2/m$	$\beta$ 90
8.	1b-3	$\sigma'_6 \tau_1 \sigma'_6$	$C\bar{1}$	$\alpha$ 102
9.	1a-2	$ \sigma_3   \tau_0   \sigma_3  $	$C2/m$	$\beta$ 97
10.	1a-4	$ \sigma'_3   \tau_+   \sigma'_3  $	$C\bar{1}$	$\beta$ 97
11.	1b-2	$ \sigma'_6 \tau_6   \sigma'_6$	$Cm$	$\beta$ 97
12.	1b-4	$ \sigma'_3 \tau_4   \sigma'_3$	$C\bar{1}$	$\beta$ 97

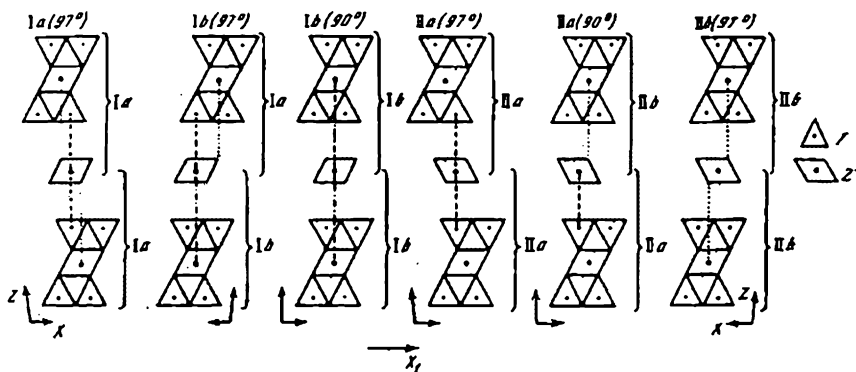


Рис. 14. Схематическая диаграмма расположения слоев в хлоритах: 1 — тетраэдрические слои; 2 — октаэдрические слои (по Широу и Бейли)

Таблица 55. Минеральные виды хлоритов

Род	Вид	Название и формула
/64171	/641711	пеннин — $(Mg,Al)_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot Mg_3(OH)_6$
	—	клинохлор — $(Mg,Al)_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot Mg_3(OH)_6$
	—	шериданит — $(Mg,Al)_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot Mg_3(OH)_6$
	—	кеммерерит — $(Mg,Cr)_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot Mg_3(OH)_6$
	/641712	нимит — $Mg_2Ni_3Al[Si_3AlO_{10}](OH)_8$
	/641713	роньерит — $(Mn,Al,Fe^{3+})_3[Si_3(Si,Fe^{3+})O_{10}](OH)_2 \cdot (Mn,Mg,Fe^{3+})_3(OH)_6$
	/641714	пеннантит — $(Fe^{2+},Fe^{3+})_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot (Fe,Mg)_3(O,OH)_6$
	/641715	шамозит — $(Fe^{2+},Fe^{3+})_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot (Fe,Mg)_3(O,OH)_6$
	/641716	ферроамезит — $Fe_4Al_2[Si_2Al_2O_{10}](OH)_8$
	/641717	тюрингит — $(Fe^{2+},Fe^{3+},Al)_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot (Mg,Fe^{2+},Fe^{3+})_3(O,OH)_6$
	/641718	брунсвигин — $(Fe^{2+},Al,Mg)_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot (Fe,Mg)_3(OH)_6$
	/641719	дафнит — $(Fe^{2+},Al)_3[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot Fe_3(OH)_6$
/64172	/641721	манандоит — $LiAl_2[Si_2BAIO_{10}](OH)_2 \cdot Al_2(OH)_6$
	/641722	судоит — $Al_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot Mg_2Al(OH)_6$
	/641723	кукеит — $Al_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot LiAl_2(OH)_6$
	/641724	донбассит — $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot Al_2(OH)_6$
/64173	/641731	бейлихлор — $(Zn,Fe^{2+},Mg,Al,Cr)_6[Si_3AlO_{10}](OH)_8$
	/641732	кочубеит — $(Mg,Cr,Al)_6[(Si,Al)O_{10}](OH)_8$
/64174	/641741	вермикулит — $(Mg,Fe^{3+})_3[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$

Кеммерерит упоминается в справочнике "Минералы" [40] (4, вып. 2) в разделе "Хромовые хлориты", с. 217. Однако он не выделяется в качестве самостоятельного минерала. В статье приведены три ссылки (4, 5, 9) на работы, в которых из-за незначительного содержания хрома предлагается кеммерерит не считать самостоятельным минералом, а именовать хромовым пеннинном, клинохлором или жериданитом, т.е. другими словами, считать его разновидностью. Первые два рода (табл. 55) принадлежат к моноклинным хлоритам триоктаэдрического и диоктаэдрического типов. Третий род /64173 относится к триклинным хлоритам.

### 2.7.3.1.9. Семейство /6418 (смектитов).

Структура смектитов представляет собою пакеты из трех слоев: центрального октаэдрического и примыкающих к нему с двух сторон тетраэдрических слоев. Эти пакеты аналогичны у талька, слюд и хлоритов. Пакеты чередуются со слоями, состоящими из одно- или двухвалентных катионов (часто Na или Ca), окруженными молекулами воды. Этот слой, в отличие от сходного октаэдрического слоя хлоритов, очень непрочен, в частности число молекул воды способно меняться. В результате поглощения воды происходит расширение

решетки. Катионы, находящиеся в этих слоях, также способны замещаться другими катионами или частично удаляться вместе с водой. В результате этот промежуточный слой по составу и строению может значительно варьировать. Такие минералы, часто называемые "глинистыми минералами", широко используются в промышленности и поэтому детально исследованы. Из-за непостоянного состава в литературе для их химических формул практически всегда используются дробные коэффициенты. Мы будем стремиться давать предельные целочисленные коэффициенты, в особенности для основного пакета, понимая, конечно, что это заведомое упрощение идеи.

По-видимому аналогичное стремление было и у других авторов. Так, например, Г.Штрунц [103] во всех формулах смектитов приводит  $4nH_2O$ . Ф.В.Чухров же [40] везде указывает  $nH_2O$ , что, конечно, не дает точного представления о составе. Многие реальные анализы действительно показывают, что число молекул воды приблизительно равно четырем. Однако есть примеры, значительно отличающиеся от этого значения.

Так же как в случае хлоритов, Чухров приводит брутто формулу для смектитов; Штрунц же пишет отдельно состав основного пакета и дополнительного, что, конечно, очень важно для классификации. По этой причине везде, где возможно, мы будем использовать написание формул по Штрунцу.

Все смектиты принадлежат к моноклинной сингонии (пр.гр.  $C_2/m$ ), поэтому таблицу 56, где перечислены минеральные виды смектитов, можно считать продолжением таблицы 55.

Прежде всего поделим их на два рода: триоктаэдрические (/64174) и диоктаэдрические (/64175). Параметры решеток у всех смектитов приблизительно одинаковы:  $a \sim 5$ ,  $b \sim 9$ ,  $c \sim 14 \text{ \AA}$  и  $\beta \sim 97^\circ$ , пр.гр.  $C_2/m$ .

Таблица 56. Минеральные виды смектитов

Род	Вид	Название и формула
/64184	/641841	стивенсит — $(Mg_{3-x}Mx^2)[Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot Mx^+ \cdot nH_2O$ ; $x=0.08$
	/641842	гекторит — $(Mg_{3-x}Li_x)[Si_4O_{10}(OH,F)_2 \cdot Na_x$ ; $x=0.33$
	/641843	сапонит — $(Mg,Fe^{2+})_{3-x}(Al,Fe^{3+})_x[Si_{4-y}Al_yO_{10}(OH)_2 \cdot My-x^+ \cdot nH_2O$ ; $x=0.33$ , $y=0.4$
	/641844	батавит — $(Mg,Al)_3[Si_3AlO_{10}(OH)_2 \cdot Mg_{0.33} \cdot nH_2O$
	/641845	сауконит — $(Zn,Mg)_3[(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot Mx^+ \cdot nH_2O$
/64185	/641851	монтмориллонит — $(Al_{1.67}Mg_{0.33})[Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot Na_{0.33} \cdot nH_2O$
	/641852	бейделлит — $Al_2[Si_{3.5}Al_{0.5}O_{10}(OH)_2 \cdot (Ca,Na)_{0.3} \cdot nH_2O$
	/641853	нонтронит — $Fe^{3+}[Si_{3.67}Al_{0.33}O_{10}(OH)_2 \cdot Na_{0.33} \cdot nH_2O$
	/641854	волконскит — $(Mg_{0.82}Fe_{0.58}^{3+}Al_{0.40}Cr_{0.35})[Si_{3.82}Al_{0.18}O_{10}(OH)_2 \cdot (Mg_{0.37}Ca_{0.10}) \cdot nH_2O$



### 2.7.3.1.10. Подотряд /641, семейство /6418 (смешанослойных силикатов).

Смешанослойные силикаты представлены слоистыми силикатами, в структуре которых сочетаются элементы структур двух (очень редко — трех) слоистых минералов, например, каолинита и смектита, слюды и хлорита и т.п.

Впервые они были обнаружены Дж.В.Грюнером в 1934 г. [73]. С тех пор они интенсивно исследовались из-за их практического значения: керамическое сырье, нефтегазоносные породы и т.д. Смешанослойные минералы в природе очень распространены.

В структурах этих минералов перпендикулярно оси с ячейки чередуются пакеты, каждый из которых включает слой из одного и другого минерала с отношением 1:1 (т.е. один слой одного минерала чередуется с одним слоем другого), с отношением 2:1 и т.д. Межслоевой промежуток может быть заполнен щелочными катионами (как в слюдах), октаэдрической прослойкой (как в хлоритах), обменными катионами и водой (как в смектитах) или оставаться пустым (как в каолините и тальке).

Слои различного состава могут быть упорядочены, неупорядочены или частично упорядочены. Размер ячеек вдоль оси с определяется суммой значений "с" составляющих ее слоев разных типов.

При обозначении отдельных смешанослойных минералов указываются типы слоев: например, А — каолинитовые, тальковые или слюдяные слои, В — хлоритовые, вермикулитовые или смектитовые. Количественное соотношение слоев выражается относительным или процентным содержанием. Например, 3:1 (75:25) слюда-смектит; 1:1 (50:50) тальк-хлорит и т.д. Иногда указывается и степень упорядоченности.

По предложению С.В.Бейли [64] собственные названия рекомендуется присваивать только минералам с упорядоченной структурой. Другими словами, можно считать эту рекомендацию как предложение только такие минералы считать минеральными видами, и учесть еще, что разные образцы одного минерала могут иметь различные сочетания этих слоев. Например, минеральный вид каолинит-монтмориллонит может иметь величину  $d_{001} = 48, 54$  или  $70 \text{ \AA}$ . Для первого случая это будет чередование АВАААВ и АВАААВА. Для  $d_{001} = 54 \text{ \AA}$  — ААВАААВ, АВААААВ, ААВААВА и т.д. Подобные случаи мы будем считать разновидностями этого минерального вида.

Для определения родов в семействе /6419 смешанослойных силикатов целесообразно воспользоваться сочетанием семейств этого подотряда. Конкретное сочетание минеральных видов в рамках каждого рода дает совокупность минеральных видов в семействе смешанослойных силикатов.

Таблица 57. Семейство /6419

Род	Название
/64191	каолинит-хлорит
/64192	каолинит-сметит
/64193	талк-хлорит
—	пирофиллит-хлорит
/64194	талк-сметит
/64195	слюда-хлорит
/64196	слюда-сметит
/64197	хлорит-хлорит
/64198	хлорит-сметит
/64199	сметит-сметит

Род и вид каолинит-сметит мы включили в итоговую таблицу по той причине, что это один из наиболее распространенных слоистых минералов, хотя до сих пор не встречался его достаточно упорядоченный образец.

Часть минеральных видов этого семейства имеют специальные названия, уже утвердившиеся в минералогии. Другая часть имеет название, состоящее из названий двух минеральных видов, написанных через тире. Но и для первой части после их специального наименования мы приводим также название из двух природных минеральных видов, из которых состоит данный смешанослойный минеральный вид. Это дает возможность не указывать в этой таблице химических составов. В каждом случае по названиям исходных минеральных видов можно найти их состав из названий в предыдущих таблицах 50 — 56. Если же вместо названия минерала приведено название семейства, то это означает, что состав минерала точно не был определен.

В таблице 58 собраны минеральные виды семейства смешанослойных силикатов.

Особняком в этом подотряде стоит силинаит  $\text{Li}_2\text{Na}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  /641011. В его структуре между слоями  $[\text{Si}_2\text{O}_5]$  имеются слои из тетраэдров  $[\text{LiO}_4]$  и октаэдров  $[\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_4\text{O}_2]$ .

На этом заканчивается подотряд /641.

Таблица 58. Смешанослойные силикаты /6419

Род	Вид	Название
/64191	/641911	каолинит-монтмориллонит
	—	75% каолинитовых и 25% монтмориллонитовых слоев
	—	каолинит и Al-монтмориллонит
	—	неупорядоченные и частично упорядоченные чередования каолинитовых, галлуазитовых и монтмориллонитовых слоев
/64192	/641921	каолинит-сметит (неупорядоченный)
/64193	/641931	кулькеит=тальк-хлорит 1:1 $Mg_8Al[Si_7AlO_{20}](OH)_{10}$
	/641932	алиэтит=тальк-сапонит 1:1
/64194	/641941	луницзяньлаитп=ирофиллит-кукеит (1:1)
	/641942	феррисурит — $(Pb,Ca)_{2-3}(Fe,Al)_2[(Si,Al)_4O_{10}](CO_3)_{1.5-2}(OH,F)_{0.5-1}(OH)_2 \cdot nH_2O$
/64195	/641951	серицит-судонит
	/641952	иллит-хлорит
	—	иллит-хлорит-монтмориллонит (неупорядоченный)
	/641953	биотит-хлорит
	/641954	флогопит-хлорит
	/641956	уонезит-хлорит
	/641956	сепиолит Mg-хлорит
	/641957	салиотитп=арагонит-кукеит (1:1) $LiNaAl_6[Si_3AlO_{10}]_2(OH)_{10}$
	/641958	парагонит-донбассит-монтмориллонит 2:1:1
	/641959	тарасовит=слюда-монтмориллонит 3:1:1 слой муковит и 2 парагонит
/64196	/641961	Na-ректорит-парагонит-сметит
	/641962	K=ректорит-иллит-сметит
	/641962	K-ректорит-иллит-сметит
	/641963	иллит-сметит
	—	сколит-Fe-иллит-сметит
/64197	/641971	хлорит-вермикулит
	/641972	триоктаэдрический-диоктаэдрический Mg,Fe-хлорит
/64198	/641981	тосудит=хлорит-сметит
	/641982	Al-тосудит-донбассит-сметит
	/641983	Li-тосудит=кукеит-сметит
/64199	/641991	дегидратированный Na-сметит-гидратированный Na смектит. Упорядоченный 1:1

### 2.7.3.2. Подотряд /642; O:Si=2.5; слои с 8- и 4-членными кольцами.

Все минералы этого подотряда принадлежат к одному семейству /6421. Их структуры имеют гофрированные слои, которые связаны друг с другом изолированными крупными катионами. Четырехчленные кольца расположены перпендикулярно оси с, а восьмичленные наклонены к ней. Это семейство напоминает семейство санборнита

из предыдущего подотряда.

Минералы этого подотряда (и семейства) собраны в таблице 59.

Таблица 59. Семейство /6421

Род	Вид	Название и формула
/64211	/642111	джиллепсит — $BaFe[Si_4O_{10}]$
	/642112	купрориванит — $CaCu[Si_4O_{10}]$
	/642113	эффенбергит — $BaCu[Si_4O_{10}]$
/64212	/642121	эканит — $ThCa_2[Si_8O_{20}]$
/64213	/642131	апофиллит — $KCa_4[Si_8O_{20}](F,OH) \cdot 8H_2O$
/64214	/642141	натроапофиллит — $NaCa_4[Si_8O_{20}]F \cdot 8H_2O$
/64215	/642151	кавансит — $Ca(VO)[Si_4O_{10}] \cdot 4H_2O$

K- и Na-апофиллиты различаются сингонией: тетрагональная и ромбическая соответственно. У кавансита группа (VO) расположена в межслоевом пространстве (рис. 15).

### 2.7.3.3. Подотряд /643; O:Si=2.5; слои с 8- и 5-членными кольцами.

К этому подотряду относятся два минерала:

некоит —  $Ca_3[Si_6O_{15}] \cdot 7H_2O$ ; его символ /643111;

окенит —  $Ca_{10}[Si_6O_{15}](Si_6O_{16}) \cdot 18H_2O$  — /643121.

У окенита кроме слоев  $[Si_6O_{15}]$  имеются еще ленты состава  $(Si_6O_{16})$ .

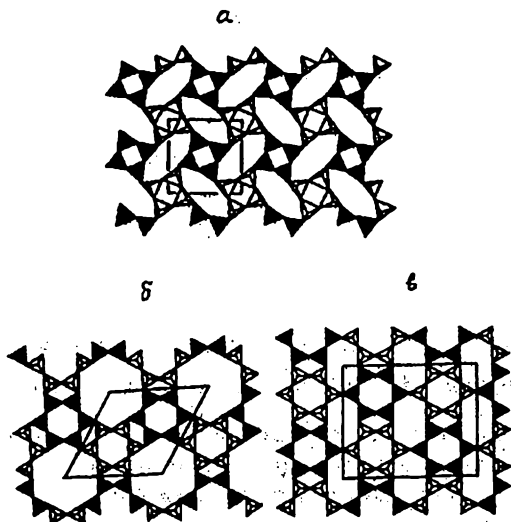


Рис. 15. Слои в структурах: а — апофиллита; б — пиросмалита; в — бементита.

**2.7.3.4. Подотряд /644; O:Si=2.5; слои с 8-, 6-, 4-членными кольцами.**

Минералы, относящиеся к этому подотряду, собраны в табл. 60. Они все относятся к одному семейству. Безводные минералы кристаллизуются в триклинной сингонии с близкими параметрами решетки, т.е. относятся к одному роду. Гидраты относятся к разным родам.

Таблица 60. Минеральные виды подотряда /644

Род	Вид	Название и формула
/64411	/644111	даванит — $K_2Ti[Si_6O_{15}]$
	/644112	делит — $K_2Zr[Si_6O_{15}]$
	/644113	бементит — $Mn_7[Si_6O_{15}](OH)_8$
/64412	/644121	сажинит — $Na_2Ce[Si_6O_{14}(OH)] \cdot 1.5H_2O$
/64413	/644131	терекит — $Na_4Zr[Si_6O_{15}](OH)_2 \cdot nH_2O$
/64414	/644141	армстронгит — $CaZr[Si_6O_{15}] \cdot 2.5H_2O$

**2.7.3.5. Подотряд /645; O:Si=2.5; слои с 6-, 4-членными кольцами.**

Минералы, относящиеся к этому подотряду, собраны в табл. 61. Они относятся к двум семействам /6451 и /6452. Все структуры представляют собою чередование тетраэдрических и октаэдрических слоев бруситового типа. В тетраэдрических слоях вершины тетраэдров направлены в разные стороны. Среди минералов этого подотряда определены многочисленные полииты.

Таблица 61. Минеральные виды подотряда /645

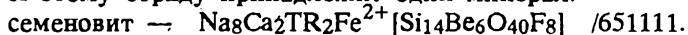
Род	Вид	Название и формула
/64511	/645111	пиросмалит — $(Fe,Mg)_8[Si_6O_{15}](OH,Cl)_{10}$
/64512	/645121	фриделит — $Mg_8[Si_6O_{15}](OH,Cl)_{10}$
	/645122	магиллит — $Mn_8[Si_6O_{15}](OH)_8Cl_2$
/64511	/645111	пиросмалит — $(Fe,Mg)_8[Si_6O_{15}](OH,Cl)_{10}$
/64521	/645211	шаллерит — $Mn_{16}[Si_{12}O_{30}](OH)_{14}(As_3^{3+}O_6)(OH)_3$
/64522	/645221	неленит — $(Mn,Fe)_6[Si_{12}O_{30}](OH)_{14}(As_3^{3+}O_6)(OH)_3$

Между первыми тремя минералами наблюдаются твердые растворы, несмотря на то, что первый из них относится к триклинной сингонии, а второй и третий — к моноклинной.

Последние два также относятся к разным сингониям, ромбической и моноклинной соответственно.

**2.7.4. Отряд /65. O:Si=12:5 (2.40), слои с 8-, 5- и 4-членными кольцами.**

К этому отряду принадлежит один минерал:



Атомы Ве образуют единый слой с Si. Слой параллелен плоскости (001); псевдотетрагональная структура, в которой вершины части тетраэдров направлены в разные стороны.

2.7.5. Отряд /66. O:Si=7:3 (2.33); слои с 8-, 5- и 4-членными кольцами.

К этому отряду принадлежат два минерала, относящихся к одному семейству, но к разным родам:

лейкофан —  $\text{CaNa}[\text{Si}_2\text{BeO}_6\text{F}]$  /661111

мелинофан  $\text{Ca}(\text{Na}, \text{Ca})[\text{Si}_2\text{BeO}_6(\text{F}, \text{O})]$  /661121

Структуры близки между собой, но разные по симметрии. У первого ромбическая сингония, у второго — тетрагональная. Слои у обоих минералов сходные. Они имеют 8-, 5- и 4-членные кольца, но различаются между собой расположением (чередованием)  $\text{SiO}_4$  и  $\text{BeO}_4$ -тетраэдров. У лейкофана  $\text{SiO}_4$ -тетраэдры образуют бесконечные цепочки, соединенные тетраэдрами  $\text{BeO}_4$ ; у мелинофана можно выделить 16-членные кольца, в центре которых находится тетраэдр  $\text{SiO}_4$ , связанный тетраэдрами  $\text{BeO}_4$  с фрагментами этого (несуществующего) кольца (рис. 16).

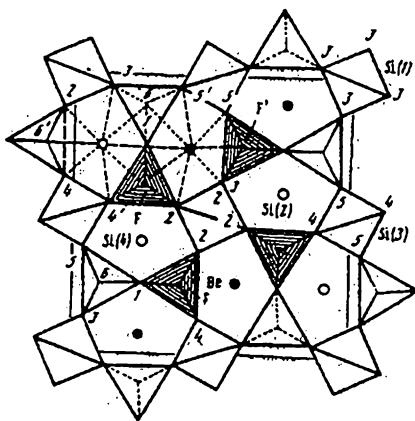


Рис. 16. Кремнебериллиевый слой в структуре мелинофана

Этим отрядом заканчивается подкласс одноэтажных силикатов.

## 2.8. Подкласс двухэтажных слоистых силикатов 6142/7.

Подкласс двухэтажных силикатов /7 делится на 9 отрядов (по отношениям Si:O или O:Si).

В табл. 62 собраны все эти отряды.

Таблица 62. Отряды в подклассе двухэтажных силикатов

Si:O	O:Si	Символ отряда
10:27	2.7	П1
2:5	2.5	П2
11:27	2.45	П3
8:19	2.37	П4
3:7	2.33	П5
4:9	2.25	П6
5:11	2.2	П7
6:13	2.17	П8
1:2	2.0	П9

Простейший двухэтажный слой показан на рис. 17, а в структуре гексацельзиана. Обе плоскости тетраэдров соединяются друг с другом общими для двух вершин тетраэдров атомами кислорода. Вер-

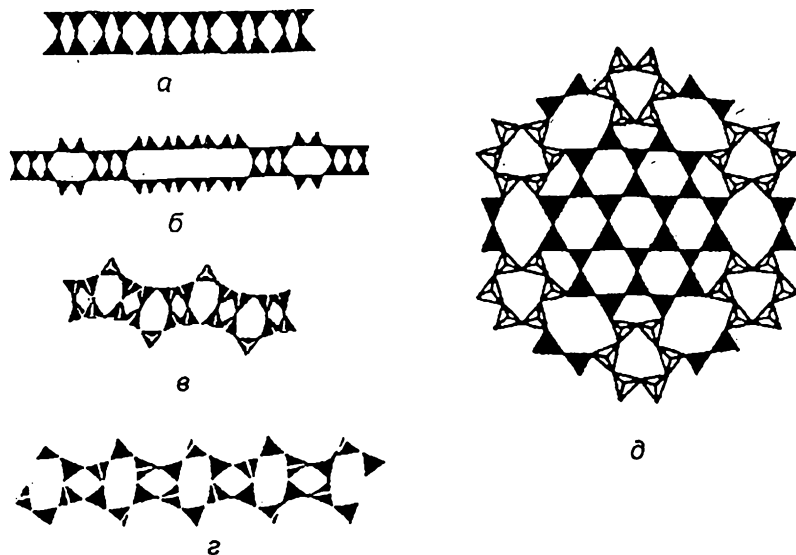


Рис. 17. Поперечные сечения некоторых двухэтажных слоев: а — гексацельзиан; б — стильномелан; в — латиумит; г — науказит; д — слой в стильномелане

шины тетраэдров в каждом этаже двухэтажного слоя могут быть направлены в разные стороны. На рис. 17, б, в показана структура стильпно-мелана, одного из характерных двухэтажных слоистых силикатов.

В двухэтажных слоях каждый из этажей может быть и не сплошным, а в трехэтажных это становится правилом.

В литературе под термином "двухэтажная слоистая структура" часто подразумевается случай, когда в элементарной ячейке располагаются два одноэтажных (в нашем понимании) слоя. Принятая нами номенклатура никак не связывается с количеством слоев в элементарной ячейке и касается только характеристики самого кремнекислородного слоя.

Если в структуре имеются двух- и одноэтажные слои, то классификация проводится по более сложному, т.е. по двухэтажному, как, например, в случае ягоита.

Отношение  $Si:O$  указывается по мотиву, которым определяется классификация минерала. Поскольку минеральных видов в этом подклассе немного, постольку удобно их рассматривать совместно в одной таблице 63.

Отряды делятся на подотряды по типу пустых колец в слое. Во второй графе табл. 63 помимо символа подотряда приводятся цифры (n), характеризующие число тетраэдров в таких кольцах.



Таблица 63. Подкласс двухэтажных слоистых силикатов П

Отряд, O:Si	Подотряд, п	Семейство	Род	Вид	Название и формула	Примечание
П1 2,70	П11 12	П111	П1111	П11111	ягоит — $X_3Pb_8M_2[Si_{10}O_{27}][Si_5(O,OH)_{14}]Cl_3$	1
П2 2,50	П21 12,6,4	П211	П2111	П21111	эввидимит — $Na_2Be_2[Si_6O_{15}]H_2O$	2
	П22 8,4	П221	П2211	П22111	тунгусит — $Ca_{14}Fe_9^{2+}[Si_8O_{20}]_3(OH)_2$	3
	П23 6	П231	П2311	П23111	орлиманит — $Ca_4Mn_3[Si_8O_{20}](OH)_6 \cdot 2H_2O$	4
П3 2,45	П31 12	П311	П3111	П31111	уйкенбергит — $Pb_3CaAl[Si_{10}AlO_{27}] \cdot 3H_2O$	5
П4 2,37	П41 6	П411	П4111	П41111	трускоттит — $Ca_{14}[Si_{16}O_{38}](Si_8O_{20})(OH)_8 \cdot 2H_2O$	6
		П412	П4121	П41211	рейерит — $(Na,K)_2Ca_{14}[Si_{14}Al_2O_{38}](Si_8O_{20})(OH)_8 \cdot 6H_2O$	7
		П413	П4131	П41311	федорит — $(K,Na)_2(Ca,Na)_7[Si_{16}O_{38}](OH,F)_2 \cdot 2H_2O$	
	П42 8,4	П421	П4211	П42111	дельхайелит — $K_3Na_2Ca_2[Si_7AlO_{19}](F,Cl)_2$	8
		П422	П4221	П42211	гидродельхайелит — $KCa_2H_2[Si_7AlO_{19}] \cdot 6H_2O$	
		П423	П4231	П42311	родезит — $Na_2K_2Ca_4[Si_{16}O_{38}] \cdot 12H_2O$	
	П43 8	П431	П4311	П43111	макдональдзит — $BaCa_4[Si_{16}O_{36}(OH)_2] \cdot 10H_2O$	9
			П4312	П43121	монтереджианит — $K_2Na_4Y_2[Si_{16}O_{38}] \cdot 10H_2O$	
П5 2,33	П51 8,6,5	П511	П5111	П51111	стильномелан — $KFe_2^{2+}Fe_2^{3+}[Si_6O_{14}]O(OH)_5 \cdot H_2O$	10
			П5112	П51121	франклинфилит — $KMn_3^{2+}Mn^{4+}[Si_6O_{14}]O(OH)_5 \cdot H_2O$	
	П52 14	П521	П5211	П52111	лейкосфенит — $Na_4BaTi_2[Si_{10}B_2O_{28}]O_2$	11
П6 2,25	П61 8,4	П611	П6111	П61111	карлтонит — $KNa_4Ca_4[Si_8O_{18}](CO_3)_4(F,OH) \cdot H_2O$	12
П7 2,20	П71 8,6	П711	П7111	П71111	тусканит — $K(Ca,Na)_6[(Si,Al)_{10}O_{22}](SO_4,CO_3)_2(OH) \cdot H_2O$	13
П8 2,17	П81 6,4	П811	П8111	П81111	науяказит — $Na_6Fe^{2+}[Si_8Al_4O_{26}]$	14
П9 2,0	П91 6	П911	П9111	П91111	гексацельзиан — $Ba[SiAlO_4]_2$	15
		П912	П9121	П91211	кимрит — $Ba[Si_2Al_2O_8] \cdot H_2O$	16
		П913	П9131	П91311	штёрлингит — $Ca_2Al[(Si,Al)O_2(OH)_4](OH)_6 \cdot 2,25H_2O$	17
				П91312	вертумнит — $Ca_2Al[(Si_{1,25}Al_{0,75})O_3(OH)_4](OH)_6 \cdot 2,45H_2O$	

Примечания к табл. 63.

1. В ягоите чередуются двух- и одноэтажные слои (рис. 18). Двухэтажный, по которому ведется классификация, имеет 12-членные кольца, его состав  $[\text{Si}_{10}\text{O}_{27}]$ ; одноэтажный состоит также из аналогичных 12-членных колец, состав его  $[\text{Si}_5\text{O}_{14}]$ . В двухэтажном слое между этажами имеются 14-членные кольца. Авторы структурной работы [87] приводят суммарную формулу:

$\text{X}_6\text{Pb}_{12}^{2+}\text{M}_4(\text{Si}_4\text{T}_6)(\text{Pb}_4^{2+}\text{Si}_{16}\text{O}_4)\text{O}_{78}(\text{O},\text{OH})_4\text{Cl}_6$ , где  $\text{X}=\text{Na},\text{K},\text{Ca},\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{M}=\text{Fe}^{3+},\text{Ti},\text{Mg},\text{Mo},\text{Ca}$ ,  $\text{X}$  и  $\text{M}$  — в октаэдрической координации,

$\text{T}=\text{Fe},\text{Be},\text{Al}$  — в тетраэдрической координации. В состав двухэтажного слоя включаются при таком написании формулы атомы  $\text{Pb}^{2+}$ , имеющие к.ч. 3 и занимающие центр 12-членного кольца из кремнекислородных тетраэдров.

2. Двойные слои эвдимита составлены из сдвоенных волластонитовых цепочек. Атомы  $\text{Be}$  образуют сдвоенные по ребру тетраэдры, поэтому их нельзя включить в  $\text{Si}-\text{O}$ -мотив. Все кольца расположены косо к плоскости слоя. У 12-членных колец часть атомов располагается на одном этаже, а вторая часть — на другом.

3. Двухэтажные слои тунгсита разделены триоктаэдрическим  $\text{Fe}-\text{OH}$ -слоем.

4. Атомы  $\text{Ca}$  и  $\text{Mn}$  с  $\text{OH}$ -группами образуют в орлиманите бруситоподобные октаэдрические слои. Молекулы воды располагаются в пустотах двухэтажных тетраэдрических слоев.

5. У уикенбергита слои в двухэтажном пакете разные: один слой имеет состав  $[\text{Si}_5\text{O}_{14}]$  и состоит из 12-членных колец, второй —  $[\text{Si}_5\text{AlO}_{15}]$  имеет шестичленные кольца. Часть атомов кислорода являются общими для двух слоев, образующих пакет состава

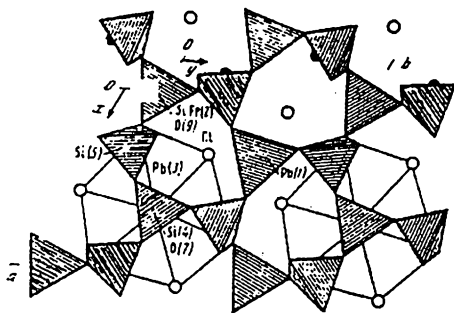
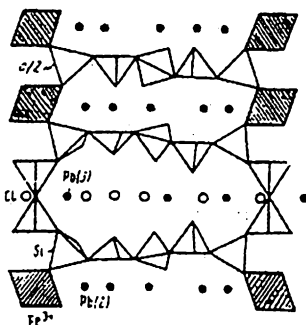


Рис. 18. Детали структуры ягоита

[Si<sub>10</sub>AlO<sub>27</sub>] (рис. 19).

6. В подотряде /74 первые три минерала имеют однотипные двойные слои. В структуре трускотита два типа тетраэдрических слоев. Как всегда, классификация идет по более сложному Si-O-мотиву, в данном случае по [Si<sub>16</sub>O<sub>38</sub>]. Эти слои чередуются с кальциевыми октаэдрическими слоями.

7. Структура рейерита сходна со структурой трускотита. Двойные слои состава [T<sub>16</sub>O<sub>38</sub>] у них (также как у федорита) одинаковы. Слои [Si<sub>8</sub>O<sub>20</sub>] также объединены в двухэтажный слой из двух типов шестичленных колец (рис. 20). Щелочные ионы и молекулы воды находятся в промежуточных и других двойных слоях. Октаэдрический слой, разделяющий оба типа двойных слоев, имеет состав Ca<sub>7</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>4</sub>.

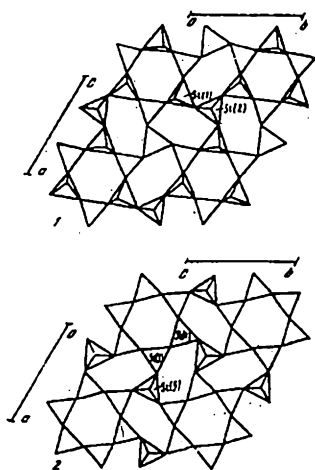


Рис. 20. Структура рейерита

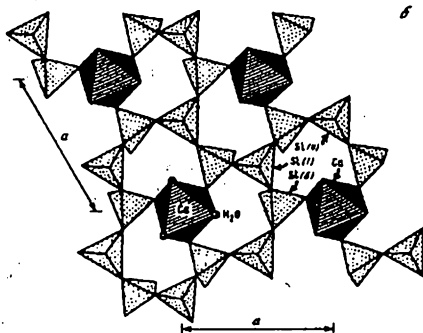
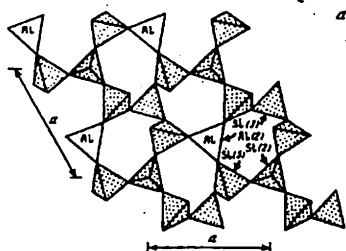


Рис. 19. Структура укенбергита

8. Дельхайелит и два следующих минерала того же подотряда имеют одинаковые или кратные размеры решеток, но число катионов и молекул воды у них отличаются, поэтому даже семейство необходимо каждому минералу приписывать свое. Двойные тетраэдрические слои образованы из апофиллитовых сеток (с кольцами 8 и 4). Все три минерала ромбической сингонии, между слоями двухэтажного пакета имеются 8- и 4-членные кольца.

9. В макдональдите и, по-видимому, в монтереджианите между слоями двухэтажного пакета имеются 8-членные вертикальные кольца.

10. В структуре стильпноелана между двойными слоями имеются 20-, 8- и 4-членные кольца. Структура

второго минерала — франклинифилита — не определена, формула написана по аналогии со стильпомеланом, т.к. размеры ячеек и симметрия у них одинаковы.

11. В лейкофените двухэтажный слой построен из 14-членных колец; перпендикулярно слоям внутри пакета имеются 14- и 4-членные кольца.

12. Карлтонит — двухслойный пакет состоит из восьми и четырехчленных колец (рис. 21). Молекулы воды находятся внутри двой-

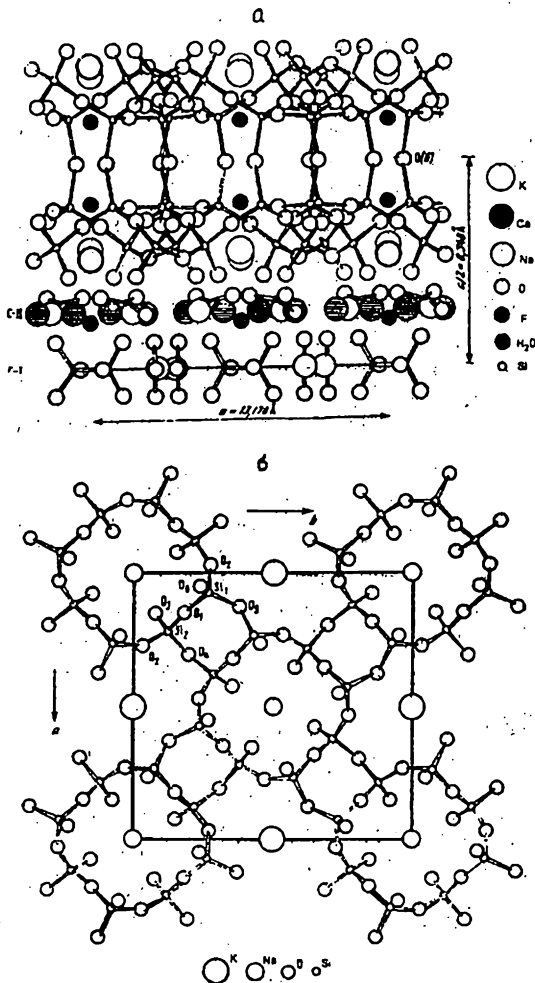


Рис. 21. Структура карлтонита: а — проекция на (001); б — проекция на (100)

ного слоя. Между этими слоями располагаются все металлы, F и группы CO<sub>3</sub>; кольца между слоями пакета 6-членные.

13. В тусканите гофрированные слои (Si,Al)-тетраэдров связаны в двухэтажный пакет; между слоями в пакете имеются 5- и 4-членные кольца. Аналогичные двухэтажные гофрированные слои имеются в структуре латнумита (K<sub>0,55</sub>□<sub>0,15</sub>)Ca<sub>3</sub>[Si<sub>2,15</sub>Al<sub>2,85</sub>O<sub>11</sub>](SO<sub>4</sub>)<sub>0,7</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>0,3</sub>, который однако нельзя считать силикатом, т.к. в его двойном слое преобладают атомы алюминия.

14. В структуре науказита два слоя пакета связаны 6- и 4-членными кольцами.

15. В гексацельзиане два слоя объединяются атомами кислорода всех тетраэдров (рис. 17, а).

16. В 4-членных вертикальных кольцах кимрита, связывающих основные слои в двухэтажный пакет, расположены атомы Ва и молекулы воды.

17. Штрётлингит и вертумнит, несмотря на различия симметрии (у первого — триклинная, а у второго — моноклинная), химической формулы и числа молекул воды, мы отнесли к одному роду из-за того, что в общем виде для обоих минералов можно написать их формулу так: Ca<sub>2</sub>Al[(Si,Al,□)<sub>3</sub>(OH,O)<sub>6</sub>]·nH<sub>2</sub>O. Часть молекул воды статистически располагается внутри двухэтажного слоя и число их непостоянно. "Октаэдрические" слои чередуются с двухэтажными тетраэдрическими и связаны с ними водородными связями. Эти слои состава — Ca<sub>2</sub>Al(OH)<sub>6</sub>·2H<sub>2</sub>O только на 1/3 октаэдрические, т.к. координационное число Са равно 7. Штрётлингит и вертумнит можно рассматривать и как политипы, отличающиеся последовательностью расположения пачек из "октаэдрических" и тетраэдрических слоев в направлении оси с.

В этот же подкласс можно отнести и пенквилксит NaTi<sub>2</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>11</sub>]·4H<sub>2</sub>O. Однако его структура резко отличается от всех остальных слоистых силикатов: слои в ней состоят из параллельных [010] спиральных трубок, имеющих период повторяемости 6 тетраэдров, связанных между собой отдельными атомами кислорода. Эти трубки являются наиболее характерной особенностью структуры, поэтому мы и отнесли пенквилксит в подкласс трубчатых силикатов 6142/5.

## 2.9. Подкласс трехэтажных слоистых силикатов 6142/8.

В литературе под терминами "двухэтажные слоистые структуры", "трехэтажные слоистые структуры" часто подразумевается случай, когда в элементарной ячейке располагаются два одноэтажных или три одноэтажных (в нашем понимании) слоя. Принятая нами номенклатура никак не связывается с количеством слоев в элементарной ячейке и касается только характеристики самого кремнекислородного слоя.

В одноэтажных и двухэтажных слоистых силикатах (см. разделы 2.7 и 2.8) каждый слой представлен непрерывным сочетанием Si-O-тетраэдров. Эти слои отличаются друг от друга наличием различных пустых колец (из 3-х, 4-х, 6-ти, 8-и, 10-и и 12-и тетраэдров), их комбинацией и взаимным расположением Si-O-тетраэдров, находящихся в них на одном или соответственно на двух уровнях. Каждый из этих слоев может быть плоским, волнистым или гофрированным.

В трехэтажных слоистых силикатах Si-O-тетраэдры находятся на трех уровнях, но на каждом из этих уровней они не представляют собой сплошного слоя. Один тетраэдр или кольца из трех, четырех и т.д. тетраэдров, лежащие на одной плоскости, изолированы от тетраэдров соседнего слоя.

Расположение тетраэдров на первом и на третьем уровне одинаково. Тетраэдры промежуточного уровня объединяются через общие атомы кислорода с тетраэдрами наружных уровней и образуют общий трехэтажный слой.

Подкласс 6142/8 делится на три отряда: /81 с соотношениями O:Si=2.6 (Si:O=5:13); /82 — O:Si=2.50 (Si:O=2:5) и /83 — с O:Si=2.33 (Si:O=3:7). Для каждого отряда известно пока лишь по два минерала. Все они собраны в таблице 64.

Таблица 64. Минеральные виды подкласса трехэтажных слоистых силикатов 6142/8

Отряд	Подотряд	Семейство	Род	Вид	Название и формула
/81	/811	/8111	/81111	/811111	алтисит — $\text{Na}_3\text{K}_6\text{Ti}_2[\text{Si}_4\text{AlO}_{13}]_2\text{Cl}_3$
	/812	/8121	/81211	/812111	лемуанит — $(\text{Na},\text{K})_2\text{CaZr}_2[\text{Si}_5\text{O}_{13}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
/82	/821	/8211	/82111	/822111	пренит — $\text{Ca}_2\text{Al}[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$
	/822	/8212	/82112	/821112	амсталлит — $\text{CaAl}[\text{Si}_{1.6}\text{Al}_{0.4}\text{O}_4(\text{OH})_2(\text{OH})_2\text{Cl}_{0.2} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
/83	/831	/8311	/83111	/831111	зусманит — $\text{K}(\text{Fe},\text{Mg},\text{Mn},\text{Al})_{13}[(\text{Si},\text{Al})_{18}\text{O}_{42}](\text{OH})_{14}$
				/831112	кумбсит — $\text{K}(\text{Mn},\text{Fe},\text{Mg})_{13}[(\text{Si},\text{Al})_{18}\text{O}_{42}](\text{OH})_{14}$

Подотряды определяются формой колец из Si-O-тетраэдров, семейства — взаимным их расположением.

Отряд /81, (O:Si=2.6) делится на два подотряда, каждый из которых представлен самостоятельным семейством, родом и видом.

Первый подотряд — /811 представлен одним минеральным видом — алтиситом — /811111 (рис. 22).

В его структуре трехэтажный пакет построен из трех типов колец: десятичленных, параллельных (001), лежащих на двух внешних уровнях пакета, и двух типов шестичленных наклонных колец (из 4 атомов Si и двух атомов Al). Все атомы Al лежат в промежуточном слое пакета.

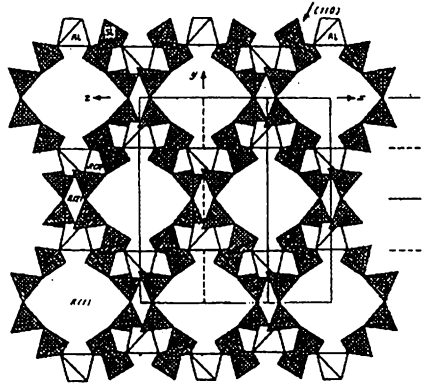


Рис. 22. Структура алтисита

В подотряде /812 тетраэдрический слой характеризуется комбинацией трех типов колец: 6-членных, лежащих в плоскостях внешних уровней трехэтажных слоев; 10-членных, наклоненных под небольшим углом к плоскости слоя; 6-членных, расположенных вертикально. Структура минерального вида этого подотряда — лемуанита (/812111): на двух внешних уровнях находятся шестичленные кольца, на промежуточных уровнях расположены одиночные тетраэдры, объединяющие внешние слои трехэтажного пакета с образованием 6- и 10-членных наклонных колец.

Отряд /82, (O:Si=2.5).

Как и в первом отряде, здесь имеются два подотряда, семейства, рода и вида.

Представитель подотряда /821 — минерал пренит (/821111), в структуре которого на внешних уровнях пакета (в его плоскости) лежат шестичленные кольца, на промежуточном уровне — наклонные четырехчленные кольца. Пакет гофрированный.

Подотряд /822 характеризуется трехэтажным тетраэдрическим слоем, построенным из восьмичленных Si-Al-O-колец двух внешних уровней, связанных между собой одиночными тетраэдрами промежуточного уровня с образованием четырехчленных наклонных колец.

В структуре пренита средний этаж представлен "пироксеновыми" цепочками из чередующихся Si- и Al-тетраэдров, вытянутыми вдоль оси y. В наружных слоях аналогичные цепочки вытянуты в направлении x-оси, а одиночными Si-тетраэдрами они соединены с цепоч-

ками среднего слоя в единый трехэтажный слой. Таким образом, часть атомов Si-тетраэдров среднего слоя делят все свои четыре вершины. В результате в трехэтажном слое образуются деформированные шестичленные кольца.

Похожую структуру имеет и амсталлит, хотя его трехэтажный слой иначе разветвлен, в результате чего получаются не шестичленные, а четырехчленные деформированные кольца. Атомы Са и связанные с ними молекулы воды занимают в структуре каналы, параллельные [001].

Отряд /83. (O:Si=2.33).

Этот отряд представлен двумя изоструктурными минералами (зусманит — /831111 и кумбсит — /831112), относящимися к одному подотряду, семейству и роду. Их структура характеризуется гофрированным пакетом, на внешних уровнях которого располагаются шестичленные кольца, на промежуточном уровне — трехчленные.

Тетраэдры разных уровней образуют наклонные восьмичленные кольца. Между тройными (Si,Al)-слоями находятся октаэдрические слои (Fe,Mn,Mg)(O,OH)<sub>6</sub>. Ионы калия размещаются в пустотах среднего слоя (рис. 23).

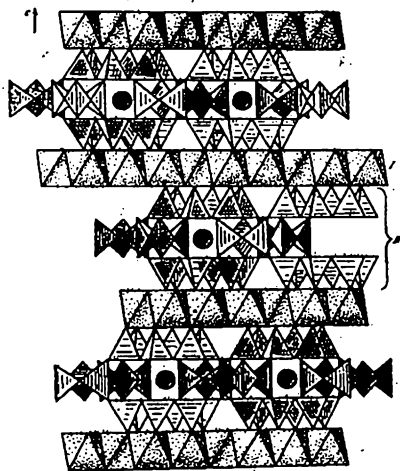


Рис. 23. Структура зусманита



## 2.10. Подкласс каркасных силикатов 6142/9

### 2.10.1. Деление подкласса каркасных силикатов на отряды.

Этот подкласс характеризуется трехмерным сочленением анионных тетраэдров  $\text{TO}_4$ , где Т, главным образом, является изоморфно или упорядоченно замещенным Si и Al. При этом число  $\text{AlO}_4$ -тетраэдров меньше или равно числу  $\text{SiO}_4$ -тетраэдров. Такой каркас  $(\text{Si,Al})\text{O}_2$  представляет собою трехмерный анион, в пустотах которого располагаются катионы, компенсирующие его заряд. Обычно это крупные щелочные или щелочноземельные элементы, такие как Na, K, Ca, Ba. Катионы меньшего размера с характерной для них шестерной координацией (такие как Mg,  $\text{Fe}^{2+}$ , Mn, Al,  $\text{Fe}^{3+}$ ), которые были широко представлены в предыдущих подклассах, здесь обычно отсутствуют.

Есть группы каркасных силикатов, у которых в пустотах располагаются одиночные или комплексные анионы:  $-\text{Cl}$ ,  $\text{S}_2$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  и др. Многогранные пустоты, в которых располагаются большие катионы или анионы, могут надежно характеризовать тип каркаса. На рис.24 собраны такие пустоты. Каждая пустота (многогранник) характеризуется числом граней и их формой. Например, пустота №10, имеющая символ  $12=4^35^66^3$ , означает, что она (т.е. ее многогранник) имеет 12 граней: четырехугольных граней — 3, пятиугольных — 6 и шестиугольных — 3.

Второй важной характеристикой каркасов является "плотность каркаса" — ПК (см. ниже).

Отношение  $(\text{Si}+\text{Al}):\text{O}$  для сплошных каркасов обычно составляет 1:2, поэтому структуры этих минералов иногда бывают близки по строению к структурам различных модификаций кремнезема: кварцу (26,6), тридимиту (22,6), кристобалиту (23), коэситу (29,3), кититу (25,1). В скобках приведены значения плотности каркаса (см. ниже).

Каждая вершина тетраэдра (т.е. атом кислорода), как правило, является общей для другого тетраэдра. В редких случаях каркасы оказываются разорванными, т.е. в них имеются атомы кислорода, принадлежащие только одному атому кремния. Отношение  $\text{O}:\text{T}$  в этом случае оказывается больше двух, и соответственно, такие силикаты могут быть чисто кремниевым. Минералы с такими структурами представляют собою первое подразделение каркасных силикатов — отряд силикатов с разорванными каркасами. Их очень немного (см. табл. 65).

Поскольку развиваемая нами классификация минералов является промежуточной между естественной и искусственной и, также как биологические классификации, еще далека от полностью естествен-

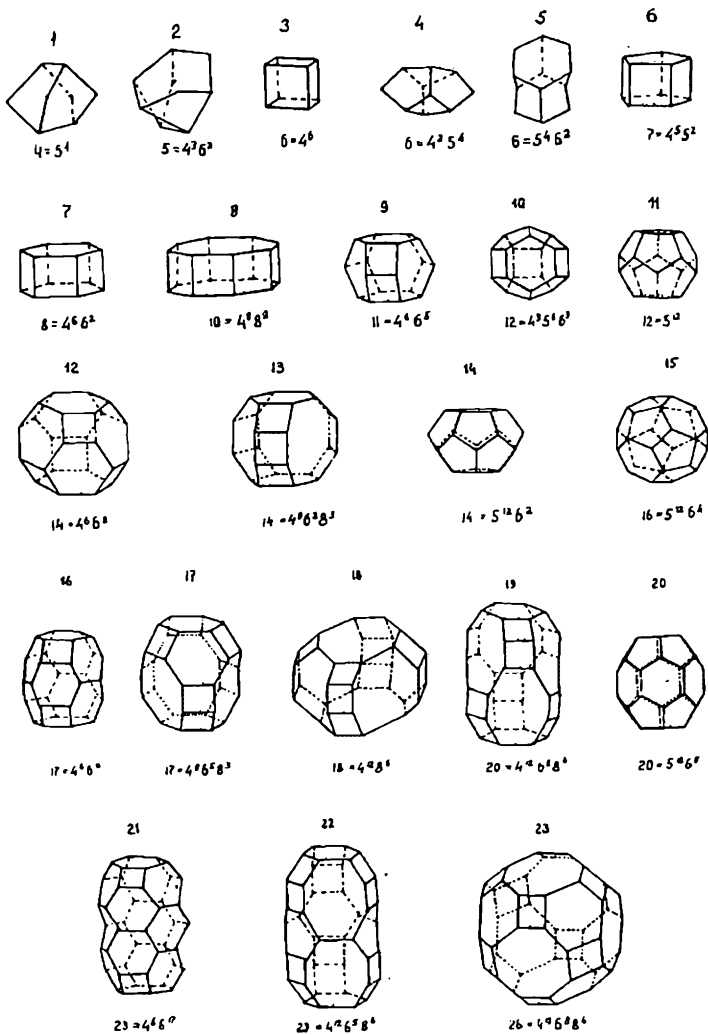


Рис. 24. Основные многогранные пустоты в каркасных силикатах. Примеры: 1 — морденит и др.; 2 — гускрикит; 3 — цеолит P\*; 4 — гейландит, брюстерит и др.; 5 — готтардит; 6 — синтетический цеолит; 7 — гмелинит, шабазит, афганит и др.; 8 — паулингит; 9 — минералы семейства канкринита, ряд цеолитов; 10 — додекасил 1-H\*; 11 — меланофлогит\*; 12 — содалит и др.; 13 — гмелинит и др.; 14 — меланофлогит\*; 15 — додекасил 3=C\*; 16 — быстрит; 17 — левинит (1/2); 18 — паулингит; 19 — шабазит; 20 — додекасил 14\*; 21 — лиоттит, лосод\*; 22 — эрионит; 23 — фюзит.

Примечание: звездочкой \* отмечены клатрасилы и синтетические цеолиты (по Либау)

ной, постольку такие приемы, как стремление к близким коэффициентам информативности, для них допустимы.

В предыдущих подклассах мы стремились избегать отклонений от максимального приближения к естественности, но для каркасных силикатов, по-видимому, сделать подобное отклонение целесообразно. Если приписывать отрядам этого подкласса десятичные символы, по формальным правилам, которыми мы пользовались для предыдущих подклассов, то минералам с разорванными каркасами пришлось бы отдать 7 цифр: /91(O:Si=2.75), /92(2.50), /93(2.25), /94(2.14), /95(2.12), /96(2.08) и /97(2.05).

В каждом отряде было бы по одному, двум минеральным видам, а на оставшийся отряд /98(2.00) пришлось бы почти все каркасные силикаты. В него попали бы вместе с другими, в частности, такие важные минералы как полевые шпаты и цеолиты. По этой причине мы решили для подкласса каркасных силикатов разработать и принять немного отличающуюся систему дробления подкласса на отряды.

Все силикаты с разорванными каркасами предлагается объединить в один отряд /91, а все перечисленные выше отношения O:Si использовать для деления этого отряда на подотряды. Основную же массу минералов этого подкласса, имеющих сплошные каркасы состава O:T=2, разделить еще на четыре отряда : /92, /93, /94, /95.

Отряд /92 — силикаты с плотными сплошными каркасами — ПК > 20 (т.е. без крупных пустот), в химическом составе которых нет дополнительных анионов и молекул H<sub>2</sub>O. Важнейшие минералы этого отряда — полевые шпаты и нефелин.

Отряд /93 имеет рыхлые каркасы, ПК < 20, не содержит дополнительных анионов. В их структурах имеются достаточно узкие каналы — обычно шестичленного сечения. Этот отряд иногда в минералогической литературе называется группой альцима-лейцита (ПК=18).

Отряд /94 — силикаты, имеющие дополнительные анионы и молекулы H<sub>2</sub>O. В эту группу минералов входят большинство фельдшпатоидов. Кстати, можно отметить, что дополнительные анионы у этих минералов располагаются в крупных изолированных друг от друга пустотах каркаса, что определяет низкие значения ПК.

Отряд /95 — цеолиты. Это такие силикаты, в химическом составе которых нет дополнительных анионов, но всегда имеется некоторое количество воды. Крупные пустоты у цеолитов объединяются в широкие каналы, что обуславливает низкие значения ПК.

Важной характеристикой каркасных силикатов, как сказано выше, является понятие "плотность каркаса". Под плотностью каркаса

ПК (FD) понимается число тетраэдров в  $1000 \text{ \AA}^3$ . Она определяется из состава каркаса и объема элементарной ячейки. Так, например, у шабазита ПК=14.6, у фюзита 12.7, у полевых шпатов ~22, а у нефелина 23.7.

Очень интересную работу провели Г.О.Бруннер и В.М.Мейер [69]. Они показали, что по плотности каркаса ПК (Framework density — FD) все каркасные силикаты резко делятся на две части. Эти авторы построили диаграмму, где выделили серии каркасных силикатов по наименьшим кольцам в их каркасах. Так эти силикаты разбились на следующие 7 серий: 3,3+,4,4+,5,5+,6, где цифра означает строение минимального кольца, а знак + показывает, что кроме минимального кольца в этой структуре имеются еще кольца большего размера.

Подавляющее большинство силикатов размещается в средней части диаграммы со значениями колец 4,4+ и 5. Крайние значения 3 и 6 относятся, соответственно, к гипотетическим структурам и к модификациям оксидов кремния. Во всех случаях наблюдается достаточно широкая область значений ПК (коридор), в котором нет соответствующих этим значениям структур силикатов. Так, для каркасов с символом 4 этот коридор ограничивается сверху парацельзианом, у которого ПК=21.3, а за ним следует скаполит 21.7. Снизу этот коридор ограничен анальцимом 18.5, за которым следует югаваралит 18.1. В интервале значений ПК от 21.3 до 19.5 природных минералов нет. Для каркасов со структурами типа 4+ этот интервал еще больше: у миларита 22.7 (верхний предел), а у эпистильбита 18.0 (нижний предел).

Каркасы типа 5: у петалита ПК равно 23.2, а у бикитаита 20.0. По мере увеличения минимального кольца каркаса предельные значения ПК слегка увеличиваются: так, для верхнего предела они будут: 21.3 — 23.2, а для нижнего: 18.5 — 20.0. Ширина же коридора остается почти постоянной, приблизительно равной 1.5. ПК в той или иной форме учитывается при классификации силикатов. В частности, этим обусловлено выделение особого отряда /92, силикатов с высокими значениями ПК.

Итак, подкласс каркасных силикатов мы предлагаем делить на 5 отрядов: /91 — силикаты с разорванными каркасами, /92 — полевые шпаты, /93 — группа анальцима-лейцита, /94 — фельдшпатоиды, /95 — цеолиты.

Логика подсказывает два последних отряда поменять местами, потому что цеолиты не содержат дополнительных анионов. Однако во всех монографиях и учебниках минералогии последовательность описания силикатов именно такая — цеолиты всегда рассматрива-

ются последними. Фельдшпатоиды генетически связаны с полевыми шпатами, а не с цеолитами и поэтому они рассматриваются сразу после полевых шпатов. Не будем нарушать эти сложившиеся традиции, т.к. существо принятой нами классификации при этом не страдает.

Вторым отклонением от естественности классификации (см. раздел 1.1) является положение в этом подклассе каркасных берилло-силикатов. Если в других подклассах, например в цепочечном, цепочку из Si и Be-тетраэдров легко поделить на чисто силикатные орто- и олиго-группы с отнесением Be к катионам, а избыток атомов кислорода — в дополнение к анионной части, то для каркасных силикатов исключение Be из каркаса будет выглядеть совершенно неестественным. Как компромисс можно подобные группировки Si и Be каждый раз специально оговаривать, что кстати говоря, часто делается некоторыми авторами.

### 2.10.2. Отряд /91. Силикаты с разорванными каркасами.

Поскольку силикатов с разорванными каркасами очень немного, постольку, как сказано выше, их целесообразно объединить в один отряд и разделить на подотряды по принципу различного отношения O:T.

Таблица 65. Силикаты с разорванными каркасами

Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и формула	O:T
/911	/9111	/91111	/911111	нептунит — $\text{KNa}_2\text{Li}(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Mg})_2\text{Ti}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}]\text{O}_2$	2,75
			/911112	манганнептунит — $\text{KNa}_2\text{Li}(\text{Mn}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Ti}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}]\text{O}_2$	2,75
/912	/9121	/91211	/912111	грумантиит — $\text{Na}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_4](\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,50
/913	/9131	/91311	/913111	уссингит — $\text{Na}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_8(\text{OH})]$	2,25
/914	/9141	/91411	/914111	роджаниит — $\text{Ca}_2[\text{Si}_4\text{Al}_2\text{BeO}_{13}(\text{OH})_2] \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$	2,14
	/9142	/91421	/914211	кьявеннит — $\text{CaMn}[\text{Si}_5\text{Be}_2(\text{OH})_{13}(\text{OH})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,14
/915	/9151	/91511	/915111	партеит — $\text{Ca}_2[\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{15}(\text{OH})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,12
/916	/9161	/91611	/916111	марикопайт — $\text{Ca}_2\text{Pb}_7[\text{Si}_{36}\text{Al}_{12}(\text{O}, \text{OH})_{100}] \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	2,08
/917	/9171	/91711	/917111	венкит — $\text{Ba}_4(\text{Ca}, \text{Na})_6[\text{Si}_{12}\text{Al}_8\text{O}_{39}(\text{OH})_2] \cdot (\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,05
	/9172	/91721	/917211	лейфит — $\text{Na}_6[\text{Si}_{16}\text{Al}_2\text{BeO}_{39}(\text{OH})_2] \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$	2,05

1. Нептунит и манганнептунит кристаллизуются в моноклинной сингонии. Они изоструктурны и отличаются друг от друга только тем, что среди двухвалентных металлов у первого преобладает Fe, а у второго — Mn. Их каркас представляет собою ажурное пересечение цепочек пироксенового типа, образующих 10-членные кольца. SiO<sub>4</sub>-тетраэдры имеют по одной и по две свободные вершины, т.е.

они принадлежат только одному  $\text{SiO}_4$ -тетраэдру.

2. Грумантит кристаллизуется в ромбической сингонии  $Fdd2$ . Спиральные цепочки вдоль  $2_1[001]$  связаны друг с другом с образованием восьмичленных колец, образующих каналы.

3. Уссингит принадлежит к триклинной сингонии  $\overline{P}1$ . Его каркас имеет четырех-, шести- и восьмичленные кольца. Из девяти атомов кислорода два участвуют в образовании каркаса: один — это атом кислорода в группе  $\text{OH}$ , другой — образует с этой группой водородную связь.

4. Роджаниит кристаллизуется в тетрагональной сингонии  $14/mcm$ . Каркас, включающий  $\text{Be}$ , имеет 4- и 12-членные кольца и соотношение  $\text{O}:\text{T}=2,14$ . В более ранних работах в этом минерале атомы  $\text{Be}$  не были обнаружены, и поэтому его формула писалась иначе —  $\text{Ca}_4[\text{Si}_8\text{Al}_4(\text{OH})_4](\text{OH})_4 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$  [86]. Наличие в его каркасе 12-членных колец, образующих канал, параллельный  $[001]$ , являлось причиной отнесения этого минерала в группу цеолитов ( $\text{ПК}=15,6$ ).

5. Кьявеннит кристаллизуется в ромбической сингонии  $Pnab$ . Каркас, включающий  $\text{Be}$ , имеет 4- и 10-членные кольца. Последние образуют каналы вдоль  $[001]$ , поэтому некоторыми авторами кьявеннит считается цеолитом. Гидроксильная группа занимает одну из вершин бериллиевого тетраэдра и не является общей для двух тетраэдров. В этом месте каркас разрывается. Но если не учитывать  $\text{Be}$ , т.е. не относить его к каркасу, то разрыв каркаса будет еще более значительным.

6. Партеит кристаллизуется в моноклинной сингонии  $C2/c$ . В его каркасе, как и в предыдущем случае, в направлении  $[001]$  имеются каналы, но они здесь образованы 10-членными кольцами.

7. Марикопаит принадлежит к ромбической сингонии  $Cm2m$ . Каркас содержит пятичленные кольца, характерные для цеолитов группы морденита, но каналы из-за разрыва каркаса имеют необычную "крестовидную" форму (рис. 25).

8. Венкит кристаллизуется в гексагональной сингонии  $P62m$ . В каркасе имеются 4-, 6-, 8- и 10-членные кольца. Последние образуют каналы вдоль направлений  $[100]$ . По главной оси  $[001]$  каналы

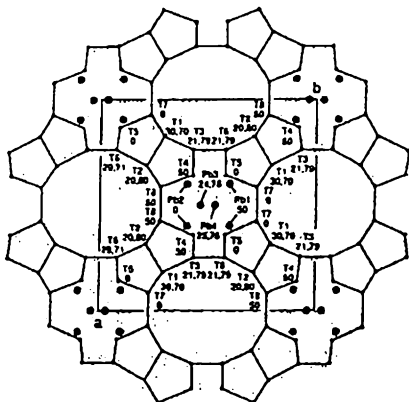


Рис. 25. Разорванный каркас в структуре марикопаита; места разрыва каркаса — между атомами  $\text{T}_4$  и  $\text{T}_5$

8-членные (см. рис. 26). В незаштрихованных тетраэдрах имеются не разделенные вершины.

9. Лейфит принадлежит к тому же подотряду, что и венкит. Он относится к тригональной сингонии  $R\bar{3}m$  1. Одна из вершин в Ве-тетраэдре занята ОН-группой, и она не участвует в образовании каркаса. Кольца в каркасе 4-, 6- и 15-членные. Последние получаются, если не учитывать атомов Ве. Тетраэдр  $ВеО_3(ОН)$  помещается в центр этого кольца, превращая его в три семичленных кольца.

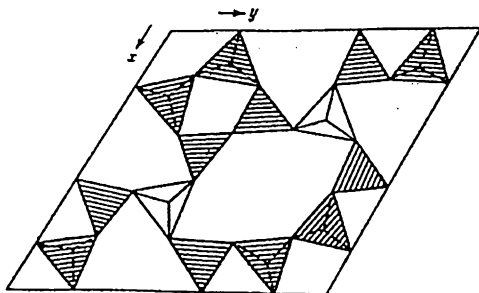


Рис. 26. Слой разорванного каркаса в структуре венкита; незаштрихованные тетраэдры имеют одну неподеленную вершину

Многие авторы относят минералы этого отряда, имеющие широкие каналы, к группе цеолитов. Нам кажется, что наличие в них разорванных каркасов является признаком более существенным, чем наличие каналов, поэтому их можно называть цеолитоподобными.

Во всех случаях, когда в химическом составе минерала имелся Ве, мы при подсчете состава каркаса и, соответственно, отношения О:Т включали его в суммарное число Т.

При нумерации подотрядов символ /914, имеющий отношение О:Т=2,17, оставлен в качестве резерва. В частности, такое отношение О:Т в каркасе лейфита, если не учитывать атомы Ве [42].

### 2.10.3. Отряд /92. Силикаты со сплошными плотными каркасами без дополнительных анионов и без молекул воды ( $ПК > 20$ ).

Этот отряд делится на 4 подотряда:

/921 подотряд полевых шпатов и их аналогов;

/922 подотряд нефелина;

/923 подотряд ромбических силикатов, не являющихся аналогами полевых шпатов;

/924 подотряд тримерита (единственный минерал, не входящий в первые три подотряда).

Силикаты этого отряда собраны в табл. 66. Последовательность минеральных видов — от триклинных к ромбическим, как это принято в минералогической литературе.

Таблица 66. Силикаты с плотными каркасами. Отряд /92 ПК>20.

Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и формула	Примечание
/921	/9211	/92111	/921111	альбит — $\text{Na}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]$	1
			—	олигоклаз — $(\text{Na},\text{Ca})[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8]_n$	
			—	андезит — $(\text{Na},\text{Ca})[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8]_n$	
			—	анортоклаз — $(\text{Na},\text{K})[\text{Si}_3\text{AlO}_8]_n$	
			—	анальбит — $\text{Na}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]_n$	
			/921112	анортит — $\text{Ca}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]$	2
			—	лабрадор — $(\text{Ca},\text{Na})[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8]_n$	
			—	битовнит — $(\text{Ca},\text{Na})[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8]_n$	
			—	авантюрин — $(\text{Ca},\text{Na})[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8]_n$	
			/921113	микроклин — $\text{K}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]$	3
			—	амазоит — $\text{K}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]_n$	
			/921114	ридмерджерит — $\text{Na}[\text{Si}_2\text{BO}_8]$	4
	/9212	/92121	/921211	саидин — $\text{K}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]$	5
			—	ортоклаз — $\text{K}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]_n$	
			—	адуляр — $\text{K}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]_n$	
			—	гиалофан — $(\text{K},\text{Ba})[(\text{Si},\text{Al})_3\text{AlO}_8]_n$	
			/921212	мональбит — $\text{Na}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]$	6
			/921213	бадингтонит — $(\text{NH}_4)[\text{Si}_3\text{AlO}_8]$	7
		/92122	/921221	цельзиан — $\text{Ba}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]$	8
			/921222	парацельзиан — $\text{Ba}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]$	9
			—	данбурит — $\text{Ca}[\text{Si}_2\text{B}_2\text{O}_8]$	10
	/9213	/92131	/921311	святославит — $\text{Ca}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]$	11
		/92132	/921321	слаусонит — $\text{Sr}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]$	12
	/9214	/92141	/921411	дмиштейбергит — $\text{Ca}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]$	13
/922	/9221	/92211	/922111	кальсилит-К — $\text{K}[\text{SiAlO}_4]$	a=5,2
		/92212	/922121	нефелин — $(\text{Na},\text{K})[\text{SiAlO}_4]$	a=10,0
		/92213	/922132	иосикаит — $\text{Ca}[\text{SiAlO}_4]$	a=9,9
		/92214	/922141	трикальсилит — $(\text{K},\text{Na})[\text{SiAlO}_4]$	a=15,3
		/92215	/922151	паиунцит — $\text{K}_{0,7}\text{Na}_{0,3}[\text{SiAlO}_4]$	a=20,5
		/92216	/922161	калиофилит — $\text{K}[\text{SiAlO}_4]$	a=27,0
/923	/9231	/92311	/923111	лисетит — $\text{Na}_2\text{Ca}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]_2$	
			/923112	стрональсит — $\text{Na}_2\text{Sr}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]_2$	
			/923113	банальсит — $\text{Na}_2\text{Ba}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]_2$	ПК=22,8
/924	/9241	/92411	/924111	тримерит — $\text{CaMn}_2[\text{SiBeO}_4]_n$	

### 2.10.3.1. Подотряд /921, полевые шпаты и их аналоги.

Этот подотряд делится на 4 семейства, отличающиеся друг от друга симметрией: семейство /9211 — триклинные минералы, /9212 — моноклинные, /9213 — ромбические и /9214 — гексагональные.



*Семейство 19211.* Триклинные полевые шпаты кристаллизуются в одном структурном типе. Они отличаются друг от друга небольшими изменениями в размерах и углах решетки. Ниже даны примечания к табл. 66.

*Род 192111*

1. Альбит — упорядоченная фаза:  $a=8,23$ ,  $b=13,00$ ,  $c=7,25$ ,  $\alpha=94^\circ$ ,  $\beta=116^\circ$ ,  $\gamma=88^\circ$ . ПК=20,8.

Разновидности: олигоклаз и андезин, анортклаз и анальбит высокотемпературный, неупорядоченный альбит:  $a=8,143$ ,  $b=12,880$ ,  $c=7,106$ ,  $\alpha=93,37^\circ$ ;  $\beta=116,30^\circ$ ,  $\gamma=90,28^\circ$ .

При нагревании альбита происходит разупорядочение структуры и небольшие изменения ее параметров. При этом  $\gamma$  переходит через рубеж  $90^\circ$ , что и дает основание некоторым минерологам считать получающийся при этом анальбит новым (отдельным) минеральным видом, а не разновидностью альбита; с этим вряд-ли можно согласиться. Аналогично обстоит вопрос с так называемой модификацией анортклаза.

Остается неясным вопрос, является ли анальбит минеральным видом или разновидностью. В общем случае полное разупорядочение вещества (например, при повышении температуры) приводит к появлению нового минерального вида, т.к. обычно влечет за собой изменение симметрии, и, следовательно, получающаяся модификация является новым минеральным видом. В случае анальбита изменение симметрии не происходит (во всяком случае оно не зафиксировано).

Выше мы предлагали в ряду полностью упорядоченных и полностью разупорядоченных структур принимать 50% рубеж (если изменение симметрии раньше не происходит), отделяющий границы между двумя минеральными видами (аналогично изоморфным смесям). В данном случае, по-видимому, упорядочение незначительное (т.е. не достигающее 50%), поэтому вряд-ли следует анальбит считать отдельным минеральным видом.

Аналогично рассмотренному выше вопросу об альбите и анальбите, та же проблема возникает при сопоставлении низкотемпературного анортита и его разупорядоченного высокотемпературного аналога. В данном случае при разупорядочении появляются дополнительные центры инверсии, и объем ячейки ( $P\bar{1}$ ) уменьшается вдвое. Следовательно, высокотемпературный анортит можно рассматривать как новый минеральный вид.

2. Анортит — упорядоченная фаза:  $a=8,18$ ,  $b=12,9$ ,  $c=14,17$ ,  $\alpha=93^\circ$ ,  $\beta=116^\circ$ ,  $\gamma=91^\circ$ . ПК=20,9.

Разновидности: лабрадор и битовнит, а также авантюрин — раз-

новидность плагиоклазов с примесью калия.

3. Микроклин — упорядоченная фаза:  $a=8,6$ ,  $b=13,0$ ,  $c=7,2$ ,  $\alpha=90^\circ 18'$ ,  $\beta=115^\circ 50'$ ,  $\gamma=87^\circ 30'$ . ПК=22,5.

Разновидность: амазонит — зеленая разновидность.

4. Ридмерджерит —  $a=7,85$ ,  $b=12,38$ ,  $c=6,81$ ,  $\alpha=93^\circ 27'$ ,  $\beta=116^\circ 23'$ ,  $\gamma=91^\circ 52'$ .

Семейство /9212 — моноклинных полевых шпатов делится на 3 рода.

5. Санидин —  $a=8,56$ ,  $b=13,03$ ,  $c=7,18$ ,  $\beta=115^\circ 59'$ ,  $C2/m$ , неупорядоченная высокотемпературная фаза ПК=22,2,  $C2/m$ .

Разновидности: ортоклаз  $a=8,56$ ,  $b=13,00$ ,  $c=7,19$ ,  $\beta=116^\circ$  упорядоченная фаза; адуляр — низкотемпературная прозрачная разновидность ортоклаза, гиалофан.

6. Мональбит —  $a=8,1$ ,  $b=12,9$ ,  $c=7,1$ ,  $\beta=116^\circ$ ,  $C2/m$ , неупорядоченная высокотемпературная фаза.

В дополнение к тому, что говорилось выше об альбите, можно отметить, что если продолжать нагревать альбит-анальбит, то идет дальнейшее разупорядочение структуры, и она перед плавлением ( $1118^\circ$ ) претерпевает полиморфное превращение: из триклинной становится моноклинной, т.е. появляется новый минеральный вид. Особенность новой фазы заключается в том, что она не закаляется, т.е. существует только при высокой температуре.

7. Баддингтонит. В некоторых работах указывается, что иногда химический анализ показывает в его составе небольшое количество (менее 0,5%) воды.

8. Род /92122. Этот структурный тип отличается от предыдущего тем, что параметр  $c$  в его решетке удвоен.

Цельзиан —  $a=8,65$ ,  $b=13,13$ ,  $c=2\cdot 7,30$ ,  $\beta=115^\circ 02'$ ,  $I2/c$ . ПК=21,9.

9. Парацельзиан —  $a=8,58$ ,  $b=9,58$ ,  $c=9,08$ ,  $\beta=90^\circ$ ,  $P2_1/a$ . ПК=21,3. Близок к ромбическим полевым шпатам.

Семейство /9213. Ромбические аналоги полевых шпатов.

Три минеральных вида, относящихся к этому семейству, принадлежат к разным родам: /92131, /92132 и /92133.

10. Данбурит —  $a=8,77$ ,  $b=8,03$ ,  $c=7,74$ .  $Pbnm$ .

Этот минерал, строго говоря, должен быть отнесен не к силикатам, а к боратам, т.к. число атомов бора и кремния в его формуле одинаково, а бор должен предпочитаться кремнию из-за нахождения в III-*b* подгруппе ПСХЭ, тогда как кремний находится в IV-*b* подгруппе. Однако в большинстве курсов минералогии данбурит рассматривается вместе с силикатами. Поэтому мы решили упомянуть его здесь, но не давать ему символа.

11. Святославит —  $a=8,23$ ,  $b=8,61$ ,  $c=4,85$ , Пр.гр.  $P_{21}2_12$ . ПК=23,1.

12. Слаусонит —  $a=8,90$ ,  $b=9,36$ ,  $c=8,33$ .  $P_{21}/a$ ,  $\beta=90,3^\circ$ , ПК=23,3.

*Семейство /9214. Гексагональные аналоги полевых шпатов.*

К этому семейству относится один минерал. Его род /92141.

13. Дмиштейнбергит —  $a=5,12$ ,  $c=14,78$ , ПК=23,5.

В некоторых минералогических работах фигурируют еще аналогичные по структуре стронциевый и бариевый силикаты, полученные только синтетическим путем. В природе пока они не найдены.

### 2.10.3.2. Подотряд /922 нефелина.

Из таблица 66 видно, что каждый из первых пяти видов натрокалиевых минералов подотряда нефелина принадлежит к самостоятельному роду. В структурных типах этих минеральных видов размеры элементарных ячеек отличаются друг от друга приблизительно в целое число раз (по параметрам  $a$ ). Только кальциевый минеральный вид — иосиокаит можно считать относящимся к одному роду с нефелином. Правда, их структурные типы слегка отличаются, что влечет за собой и изменение пространственной группы; поэтому логичнее считать, что он относится все же к другому роду.

Все минералы, по-видимому, целесообразно считать одним семейством /9221, тем более, что большинство из них (все, кроме калиофилита) имеют каркас тридимитового типа (но и калиофилит по многим параметрам тоже близок к остальным).

### 2.10.3.3. Подотряд /923. Минералы ромбической сингонии, не являющиеся аналогами полевых шпатов.

Все три минерала — лисетит, строальсит и банальсит — принадлежат к одному семейству /9231 и одному роду /92311 (табл. 66).

### 2.10.3.4. Подотряд /924.

Он представлен одним псевдоромбическим минералом — триметом. Поскольку это бериллосиликат, постольку его формулу можно рассматривать как ортосиликатную  $\text{CaMn}_2\text{Be}_3[\text{SiO}_4]_3$ .  $a=8,1$ ,  $b=7,6$ ,  $c=14,0$ ,  $\beta=90^\circ 09'$ ,  $P_{21}/n$ . ПК~24. Однако, поскольку атомы Be чередуются в общем сплошном каркасе с атомами Si, логичнее помещать его в подкласс каркасных силикатов (табл. 66).

### 2.10.4. Отряд 6412/93; силикаты со сплошными неплотными (рыхлыми) каркасами (ПК ≤ 20) без дополнительных анионов.

В табл. 67 собраны все минералы, относящиеся к этому отряду.

Таблица 67. Минеральные виды отряда /93

Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и формула	ПК
/931	/9311	/93111	/931111	лейцит — $K[Si_2AlO_6]$ (высоко $t^\circ$ )	19,8
			/931112	анальцит — $Na[Si_2AlO_6] \cdot H_2O$	18,6
			/931113	поллуцит — $(Ca,Na)[Si_2AlO_6] \cdot nH_2O$	18,8
	/9312	/93121	/931211	лейцит — $K[Si_2AlO_6]$ (низко $t^\circ$ )	20,3
			/931212	амониолейцит — $(NH_4,K)[Si_2AlO_6]$	20,1
	/9313	/93122	/931221	вайрацит — $Ca[Si_2AlO_6] \cdot 2H_2O$	18,9
/932	/9321	/93211	/932111	царегородцевит — $[N(CH_3)_4][Si_5AlO_{12}]$	16,9

Этот отряд делится по характеру каркаса на 2 подотряда. К первому подотряду относится большинство минералов. Они имеют очень сходные каркасы, в которых имеются узкие одномерные непересекающиеся каналы с шестичленными сечениями и пустотами в них.

В этих пустотах размещаются крупные катионы  $K, Cs, (NH_4)$  (с координационным числом 12) и молекулы воды. Только у анальцима имеется небольшой катион  $Na^+$ , который оттесняется молекулами воды в окна между большими пустотами.

Ко второму подотряду /932 относится единственный минерал — царегородцевит, у которого каркас другого вида: он близок по форме к каркасу содалита.

Подотряд /931 делится на три семейства по симметрии: /9311 кубические структуры (три первых минерала); /9312 тетрагональные (четвертый и пятый) и /9313 — моноклинный — вайрацит.

### 2.10.5. Отряд /94 и подотряд /941. Фельдшпатоиды и скаполиты.

Это силикаты с дополнительными анионами и молекулами воды. Дополнительные анионы вместе с катионами располагаются в крупных изолированных пустотах каркаса. Эта особенность обуславливается то, что структуры этих минералов имеют высокую симметрию, и в большинстве случаев малую ПК. Число различных анионов весьма ограничено: это  $SO_4, CO_3, Cl, S, OH$ ; при этом обычно они присутствуют совместно, т.е. как-бы образуют "изоморфные" смеси. Последнее обстоятельство сближает их химический состав и не дает возможности классифицировать их по этому признаку. По этой причине мы предлагаем все минералы отряда /94 рассматривать как один подотряд и делить их на семейства по симметрии.

Первое семейство /9411 — кубические структуры, второе /9412 — гексагональные и третье — /9413 — тетрагональные. Часть минералов этого отряда, фигурирующих в курсах минералогии как самостоятельные минеральные виды, в действительности могут считаться

только разновидностями. Так, например, гакманит по составу отличается от содалита только тем, что его дополнительный анион С1, замещается незначительным количеством серы.

#### 2.10.5.1. Семейство /9411 (минералы кубической сингонии).

Минералы этого семейства рассматриваются в курсах минералогии как единая группа содалита [5], или как две группы: содалита и гельвина [103]. Дело в том, что они кристаллизуются в сходных структурах (см. рис. 24, № 12), но все минералы группы гельвина являются бериллосиликатами, поэтому, как говорилось выше, их следует рассматривать отдельно от чисто силикатных минералов. Они отличаются также катионным составом. В первой группе катионами будут Na и изоморфно его замещающий Ca, т.е. это: Mn, Fe и Zn.

Анионная часть у них также весьма различна: в первой это обычные для фельдшпатондов анионы С1 и SO<sub>4</sub>, а во второй — изолированные атомы (ионы) серы.

Все эти минералы собраны в табл. 68, где они поделены на 2 рода.

Таблица 68. Семейство содалита /9411

Род	Вид	Название и формула	ПК
/94111	/941111	содалит — Na <sub>8</sub> [SiAlO <sub>4</sub> ] <sub>6</sub> Cl <sub>2</sub>	17,1
	/941112	нозеан — Na <sub>8</sub> [SiAlO <sub>4</sub> ] <sub>6</sub> (SO <sub>4</sub> )	
	/941113	гаюин — (Na,Ca) <sub>4-8</sub> [SiAlO <sub>4</sub> ] <sub>6</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>1-2</sub>	
	/941114	лазурит — (Na,Ca) <sub>8</sub> [SiAlO <sub>4</sub> ] <sub>6</sub> (SO <sub>4</sub> ,S,Cl) <sub>2</sub>	15,6
/94112	/941121	гельвин — (Mn,Fe,Zn) <sub>8</sub> [SiBeO <sub>4</sub> ] <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	21,2
	/941122	даналит — Fe <sub>8</sub> [SiBeO <sub>4</sub> ] <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	22,6
	/941123	гентгельвин — Zn <sub>8</sub> [SiBeO <sub>4</sub> ] <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	22,6

#### 2.10.5.2. Семейство /9412 (минералы гексагональной сингонии).

В курсах минералогии эти минералы обычно называются группой канкринита. Очень подробно со структурной точки зрения они были исследованы Р.К.Расцветаевой, Е.А.Победимской и др. [44]. Они разработали строгую систему соотношения параметров решетки, пространственных групп симметрии и последовательности атомных упаковок. Последние представлены в виде колонок из многогранных пустот, расположенных вокруг тройных или шестерных координатных осей. Эти многогранные пустоты изображены на рис. 24 (№ 9, 18, 21), а колонки на рис. 27. В таблице 69 собраны все минеральные виды этого семейства. Они отличаются друг от друга кратным увеличением размеров решеток.

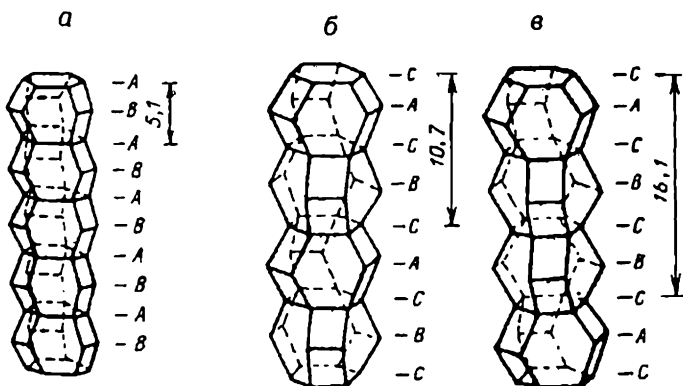


Рис. 27. Типы колонок в структурах семейства канкринита: а — канкринит; б — быстрит; в — лиоттит

Таблица 69. Семейство канкринита /9412

Род	Вид	Название и формула	Константы решеток: a, c		ПК
/94121	/941211	канкринит — $\text{Na}_6\text{Ca}_2[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]_3(\text{CO}_3)_2$	12,9	5,3	16,7
	/941212	гидроксиканкринит — $\text{Na}_8[\text{SiAlO}_4]_6(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12,7	5,2	
	/941213	канкрисилит — $\text{Na}_7[\text{Si}_7\text{Al}_3\text{O}_{24}](\text{CO}_3) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	12,6	5,1	
	/941214	давин — $(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca})_8[\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}](\text{CO}_3, \text{SO}_4, \text{Cl}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	12,7	5,3	
	/941215	вишневит — $(\text{Na}, \text{K})_8[\text{SiAlO}_4]_6(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12,7	5,2	
/94122	/941221	быстрит — $(\text{Na}, \text{K})_7\text{Ca}[\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}](\text{S}_3)_{1,4}\text{Cl}_{0,1} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12,9	10,7	15,65
/94123	/941231	лиоттит — $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})_8[\text{Si}, \text{Al}]_{12}\text{O}_{24}(\text{SO}_4, \text{Cl}, \text{CO}_3, \text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	12,9	16,1	
/94124	/941241	афранит — $(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K})_8[\text{Si}, \text{Al}]_{12}\text{O}_{24}(\text{SO}_4, \text{Cl}, \text{CO}_3)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	12,8	21,4	15,8
/94125	/941251	францинит — $(\text{Na}, \text{Ca})_7[\text{Si}, \text{Al}]_{12}\text{O}_{24}(\text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	12,9	26,9	
/94126	/941261	гункит — $(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K})_8[\text{SiAlO}_4]_6(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	12,8	32,2	
/94127	/941271	джузеппетит — $\text{Na}_{20}\text{K}_7\text{Ca}_5[\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}]_4(\text{SO}_4)_6\text{Cl}$	12,8	42,2	
/94128	/941281	сакрофанит — $\text{Na}_6\text{Ca}_2\text{K}[\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}](\text{SO}_4)(\text{CO}_3)_{0,3}(\text{OH})_{2,7}\text{Cl}_{0,2} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	12,9	72,2	
/94129	/941291	микросоммит — $(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca})_8[\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}](\text{CO}_3, \text{SO}_4, \text{Cl}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	22,1	5,3	16,0
	/941292	питигльяноит — $\text{Na}_6\text{K}_2[\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}](\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	22,1	5,2	
/94120	/941201	квадридравин — $(\text{Na}, \text{K})_6\text{Ca}_2[\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}]\text{Cl}_4$	25,8	5,4	

У последних трех минеральных видов увеличивается параметр a, а параметр c имеет минимальные размеры.

### 2.10.5.3. Семейство /9413 — (минералы тетрагональной сингонии) (скаполиты).

В это семейство входит только три минерала, кристаллизующихся в двух разных структурных типах (родах): /94131 и /94132.

К первому роду принадлежат:

мариалит —  $\text{Na}_4[\text{Si}_9\text{Al}_3\text{O}_{24}](\text{Cl}, \text{CO}_3, \text{SO}_4)$  /94131 ( $a=12,06, c=7,57$ ) и мейонит —  $\text{Ca}_4[\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}](\text{CO}_3, \text{Cl})$  /94132 ( $a=12,18, c=7,57$ )

Каркасы плотные (ПК-21—22). Эти минералы дают непрерывный ряд твердых растворов, которые по аналогии с плагиоклазами (т.е. непрерывными твердыми растворами альбита и анортита) получили тоже специальный термин — скаполиты. Кроме того некоторые минералы промежуточного состава получили специальные названия: дипир и мицтонит (полная аналогия с олигоклазом, андезитом, лабрадором и битовнитом). Оба эти минерала могут в классификации рассматриваться только как разновидности: первый — мариалита, а второй — мейонита.

Особняком в этом семействе стоит тугтупит — (род /94132)  $\text{Na}_8[\text{Si}_4\text{AlBeO}_{12}]\text{Cl}_2$  — ( $a=8,58, c=8,92$ ): во-первых, потому что он бериллосиликат и во-вторых, потому что он имеет специфическую псевдокубическую решетку. Его символ /941331.

### 2.10.6. Отряд /95. Цеолиты.

В 1963 г. Дж.В.Смит [99] дал следующее определение цеолитам, которое используется до настоящего времени: "Цеолиты являются каркасными алюмосиликатами, в структуре которых имеются полости, занятые большими катионами и молекулами воды, способными свободно удаляться и поглощаться структурой, благодаря чему происходит ионный обмен и обратимая дегидратация".

Можно добавить, что эти полости объединены у цеолитов в каналы, пронизывающие всю их структуру. При этом минимальный диаметр такого канала образуют восьмичленные кольца. Цеолиты проявляют ионообменные, а после удаления воды — и адсорбционные свойства, используемые для создания молекулярных сит и различных катализаторов. Этот новый класс неорганических материалов привел к широкому применению цеолитов во многих отраслях промышленности. Во второй половине двадцатого века опубликовано огромное количество научных работ, как по синтезу новых цеолитов, не встречающихся в природе, так и по изучению их физико-химических свойств. Кроме того, взяты тысячи патентов по практическому использованию как природных, так и искусственных цеолитов [21].

Химический состав цеолитов достаточно однообразен, но не по-

стоянен. Катионами являются атомы, главным образом, щелочных и щелочноземельных элементов, а анионный каркас составлен тетраэдрами (Si,Al)O<sub>4</sub>, которые обозначаются обычно TO<sub>4</sub> (очень редко вместо Al фигурирует В и Ве). Отношение Т:О всегда равно двум. Отношение Si:Al у каждого минерального вида не остается постоянным из-за замены щелочного элемента на щелочноземельный, а в результате ионного обмена меняется и число катионов, расположенных в каналах цеолита.

В результате этого изменяется и химическая формула цеолита.  
 $\text{NaSi} \rightleftharpoons \text{CaAl}$ ,  $\text{KSi} \rightleftharpoons \text{BaAl}$ ,  $\text{Ca} \rightleftharpoons 2\text{Na}$ ,  $\text{Ba} \rightleftharpoons 2\text{K}$

Из-за обратимой дегидратации число молекул воды в формуле цеолита не остается постоянным.

Все эти обстоятельства затрудняют классифицировать цеолиты по химическому составу и приводят к тому, что разные авторы одному и тому же цеолиту приписывают разную химическую формулу.

В качестве примера приведу эрионит:

1.  $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})_2\text{Si}_9\text{Al}_3\text{O}_{24} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  Штрунц [103] (с. 492)
2.  $\text{KCaSi}_9\text{Al}_3\text{O}_{24} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  Минералогическая энциклопедия [39] (с. 153)
3.  $(\text{K}, \text{Na})_2\text{CaSi}_3\text{Al}_2\text{O}_{10} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  Бетехтин [5] (с. 923)
4.  $\text{KNaCaSi}_6\text{Al}_2\text{O}_{16} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  Поваренных [41] (с. 297)
5.  $(\text{K}_2, \text{Ca}, \text{Na}_2)\text{Si}_{14}\text{Al}_4\text{O}_{36} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$  Флейшер [56] (с. 128)
6.  $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}_2, \text{K})_4,5\text{Si}_{27}\text{Al}_9\text{O}_{72} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$  Брек [21] (с. 252)
7. Либбау [37] эрионит упоминает, но формулы не дает (с. 196)
8.  $(\text{K}, \text{Ca}, \text{Na})_2\text{Si}_7\text{Al}_2\text{O}_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — предлагаемая формула.

Мы предлагаем использовать для цеолитов формулы с минимальными целочисленными коэффициентами. Конечно, такая формула будет приблизительной, идеализированной. В ряде случаев в современной литературе стали использовать в качестве химической формулы цеолитов коэффициенты, которые берутся из числа атомов в элементарной ячейке. Так, например, для паулингита\* Брек предлагает следующую формулу:  $(\text{K}_2, \text{Na}_2, \text{Ca}, \text{Ba})_{76}\text{Si}_{520}\text{Al}_{152}\text{O}_{1344} \cdot 700\text{H}_2\text{O}$ , но для того же паулингита в Минералогической энциклопедии, [39] (стр. 319), приводится формула с другими коэффициентами у Si и O:



Вряд ли целесообразно писать формулу поваренной соли  $\text{Na}_4\text{Cl}_4$ . Но, конечно, при описании структуры целесообразно указывать чис-

\* синоним: полингит



до формульных единиц в элементарной ячейке соответствующего кристалла.

В качестве формулы с минимальными целочисленными коэффициентами для паулингита можно принять  $(K, Ca, Na)_2[Si_{11}Al_3O_{28}] \cdot 12H_2O$ .

Поскольку первое деление цеолитов по химическому составу нецелесообразно или просто невозможно (как это было использовано для предыдущих подклассов силикатов), постольку надо их делить по их атомным структурам, т.е. по форме их каркасов.

Каркасы у цеолитов чрезвычайно разнообразны, почти каждый цеолит имеет специфический по форме каркас. Вопрос сводится, следовательно, к тому, как объединять эти разные каркасы. Существенное предложение по этому вопросу было сделано В.М.Мейером в 1968 г. [85]. Он ввел понятие "вторичные строительные единицы" (В.С.Е.) каркасов цеолитов (SBU — secondary building units), которые и положил в основу классификации. Со временем это предложение, претерпев некоторые изменения, было принято практически всеми исследователями цеолитов.

На рис. 28 показаны шесть В.С.Е. по Мейеру, которые им использованы для первого деления природных цеолитов.

У Д.Брека [21] для первого классификационного деления цеолитов

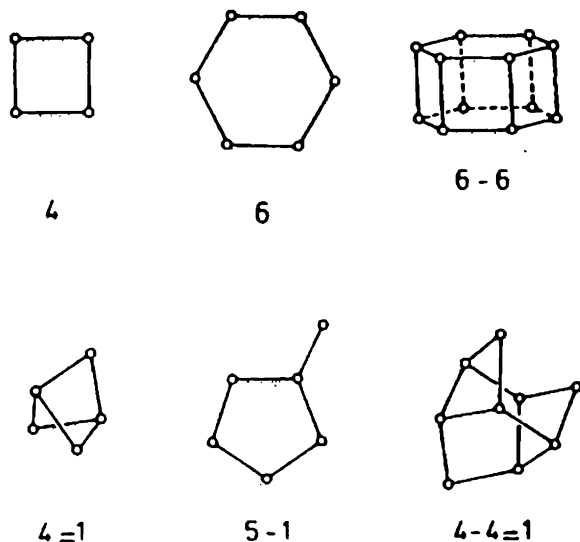


Рис. 28. Шесть типов вторичных структурных единиц (В.С.Е.) (по Мейеру)

тов используется не 6, а 7 вторичных строительных единиц. Дополнительной является тетрагональная призма (в идеале куб). Мы ее не включили, поскольку в качестве основной В.С.Е. она встречается только у искусственных цеолитов. На рис. 28 она обозначена 4—4.

Обозначение основных шести В.С.Е., используемых для первого уровня классификации цеолитов, следующее:

4,6,6—6,4—1,5—1 и 4—1 (рис. 28, табл. 70).

Другие В.С.Е., встречающиеся в структурах цеолитов (рис. 29), конечно, тоже является частями каркасов, но для классификации этого уровня не используется. Степень упорядоченности также не принимается во внимание.

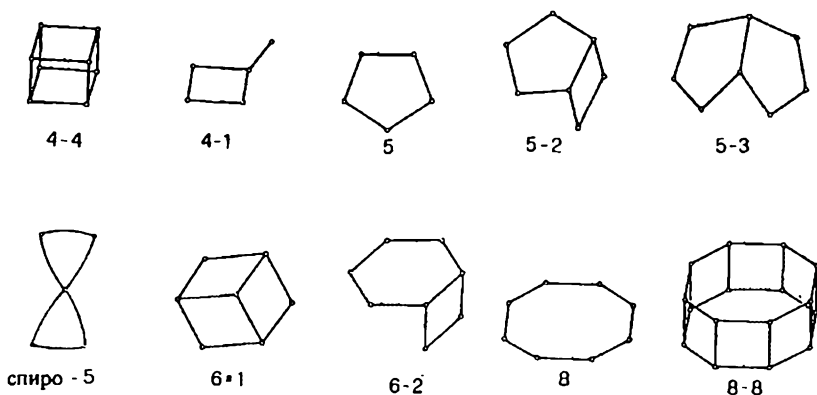


Рис. 29. Дополнительные В.С.Е.

Сам В.М.Мейер добавил к трем последним В.С.Е. на рис. 28 обозначения отношения Т:О. Целесообразно это отношение приписать всем шести:

В.С.Е.: 4=Т<sub>4</sub>О<sub>8</sub>; 6=Т<sub>6</sub>О<sub>12</sub>; 6—6=Т<sub>12</sub>О<sub>24</sub>; 4—1=Т<sub>5</sub>О<sub>10</sub>; 5—1=Т<sub>6</sub>О<sub>12</sub>; 4—4—1=Т<sub>9</sub>О<sub>18</sub> по числу тетраэдров в них. Кроме того, каждый из этих разделов называется по одному (самому важному или самому распространенному) минералу (табл. 70).

В 1987 г. В.М.Мейер в своем атласе [86] уточнил обозначения каркасов, которые характеризуются усложненной В.С.Е. с четырехчленными кольцами. Случай 4—1 он стал обозначать как 4=1, подчеркивая, что дополнительный тетраэдр присоединяется к четырехчленному кольцу двумя общими атомами кислорода. Если же тетраэдр присоединяется к аналогичному кольцу одним атомом кислорода, то для него сохранено обозначение 4—1, являющееся полной аналогией случаю 5—1.

Не надо думать, что эти В.С.Е. определяют весь каркас. Например, кроме четырехчленных колец у цеолитов, относящихся к этой группе, присутствуют, конечно, и другие В.С.Е.; но они при подборе минералов в соответствующий раздел классификации во внимание не принимаются. Они, конечно, есть, ибо не может быть цеолитный каркас, состоящий из одних четырехчленных колец. А сами четырехчленные кольца встречаются у 90% цеолитов.

В.М.Мейер в качестве критерия принадлежности цеолита к первому разделу  $4=T_4O_8$  считал подходящим условием, чтобы четырехчленные кольца образовывали бы в полостях каркаса группировки, параллельные друг другу. Объединение соседних колец осуществляется двумя способами (рис. 30, а и б): с образованием цепочек или двойных "коленчатых валов", сочленение которых приводит к образованию слоев из 4- и 8-членных колец. Вершины тетраэдров в таких слоях могут ориентироваться в ту или иную сторону от плоскости разными способами [100].

Термин  $4-1$  относится к группе натролита. В каркасах цеолитов, относящихся к этому разделу, можно выделить цепочки, в поперечном сечении которых есть четырехугольники из тетраэдров, соединенных между собой пятыми одиночными тетраэдрами, которые двумя своими вершинами объединяются в эти В.С.Е. (рис. 31); поэтому их теперь логично обозначить  $4=1$ .

В группе  $5-1=T_6O_{12}$  (морденита) во всех минералах, кроме бикитаита, группировки  $5-1$  объединены в более крупные, состоящие из четырех пятичленных колец:  $4=5^4$  (рис. 24, №1). Последние объединяются вершинами четырех тетраэдров в единые цепи, которые объединены боковыми атомами кислорода в каркас (рис. 32).

В готтардите помимо группировок  $4=5^4$  имеются еще  $6=5^46^2$  (рис. 24, №5), содержащие 6-членные кольца.

Последняя, шестая группа (гейландита) характеризуется группировкой  $4-4=1$ , обозначаемой обычно  $T_9O_{18}$ . В ней два четырехчленных кольца объединяются дополнительным тетраэдром с образованием многогранного полиэдра  $6=4^25^4$  (рис. 24, №4).

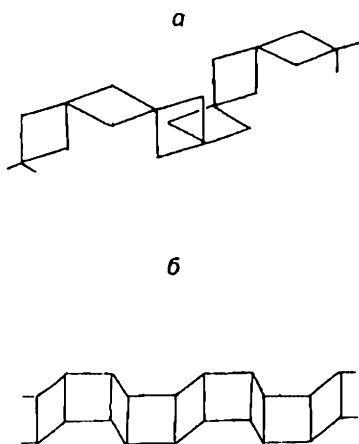


Рис. 30. Два типа сочленения 4-членных колец: а — по вершинам (анальцит, лейцит); б — по ребрам (полевые шпаты)

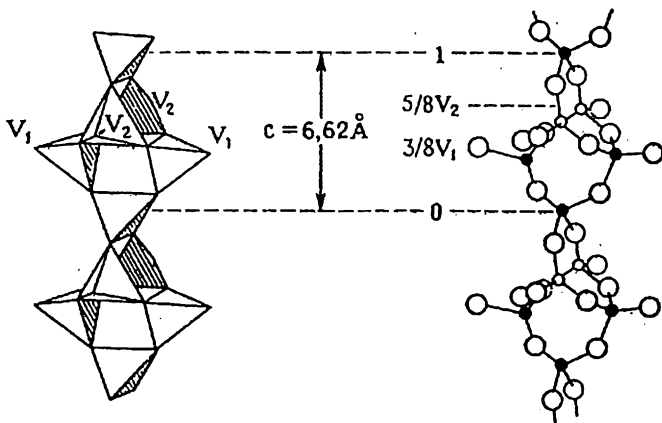


Рис. 31. Цепочки из группировок (4=1) в структуре натролита

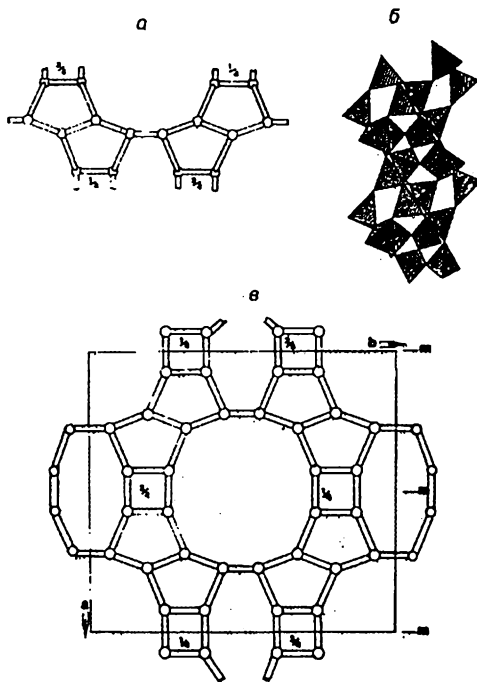


Рис. 32. Каркас морденита: а — группировка (5-1); б — цепочки из полиэдров 4=5<sup>4</sup>; в — фрагмент каркаса

Таблица 70. Таблица первого деления структур цеолитов на подотряды

Подотряд	Обозначения подотрядов	Минимальная формула	Формула кратная В.С.Е.
/951.	4 = T <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	Группа анальцима — Na[Si <sub>2</sub> AlO <sub>6</sub> ] · H <sub>2</sub> O	KCa[Si <sub>5</sub> Al <sub>3</sub> O <sub>16</sub> ] · 6H <sub>2</sub> O
/952	6 = T <sub>6</sub> O <sub>12</sub>	Группа эрионита — (Na, Ca)[Si <sub>7</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>18</sub> ] · 7H <sub>2</sub> O	(K, Ca, Na) <sub>2</sub> [Si <sub>14</sub> Al <sub>4</sub> O <sub>36</sub> ] · 14H <sub>2</sub> O
/953	4—4 = T <sub>8</sub> O <sub>16</sub>	Синтетические цеолиты	—
/954	6—6 = T <sub>12</sub> O <sub>24</sub>	Группа шабазита — Ca <sub>2</sub> Na[Si <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>12</sub> ] · 6H <sub>2</sub> O	Ca <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> Al <sub>4</sub> O <sub>24</sub> ] · 12H <sub>2</sub> O
/955	4 = (N) <sub>1</sub> = T <sub>5</sub> O <sub>10</sub>	Группа натролита — Na <sub>2</sub> [Si <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>10</sub> ] · 2H <sub>2</sub> O	
/956	5—1 = T <sub>6</sub> O <sub>12</sub>	Группа морденита — (Ca, K <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> )[Si <sub>5</sub> AlO <sub>12</sub> ] · 6H <sub>2</sub> O	
/957	4—4 = T <sub>9</sub> O <sub>18</sub>	Группа гейландита — Ca[Si <sub>7</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>18</sub> ] · 6H <sub>2</sub> O	

\* — Минимальная формула соответствует обозначению подотряда.

В таблице 70 показаны результаты первого деления отряда цеолитов на подотряды.

В первой графе перечислены подотряды и их десятичные символы. В.С.Е. подотряда /953 (по Мейеру) отвечает тетрагональная призма (в идеале куб), но она, как основная, встречается только в структурах искусственных цеолитов и не встречается у минеральных цеолитов. Этот символ следует сохранить, чтобы не нарушать всю индексацию, если будет когда-либо найден природный цеолит с соответствующей структурой.

В следующей графе приведены обозначения этих подотрядов (или семейств), а в третьей графе — указаны минералы, по которым называются эти подразделения и их минимальные формулы.

Поскольку коэффициенты в этих формулах не всегда отвечают коэффициентам, обозначающим соответствующие В.С.Е. (графа вторая), постольку для их согласования коэффициенты в минимальной формуле приходится в несколько раз увеличить (четвертая графа), чтобы сохранить отношение этих коэффициентов. Это один из способов выбора химической формулы цеолита. Кстати, соответствующей формулы для эрионита нет ни у одного из авторов, перечисленных выше.

В дополнение к табл. 70 мы считаем нужным добавить к семи первым делениям цеолитов еще два, которые не укладываются в общепринятую схему: подотряды /958 и /959.

Подотряд /958 касается цеолитов, у которых в качестве В.С.Е. есть группировка спиро-5 (см. рис. 29). В него входят ловдарит — KNa<sub>3</sub>[Si<sub>7</sub>Be<sub>2</sub>O<sub>18</sub>] · 4,5H<sub>2</sub>O и гаултит Na[Si<sub>7</sub>Zn<sub>2</sub>O<sub>18</sub>] · 5H<sub>2</sub>O. Им следует написать символы /958111 и /958121. В данном случае цинк рас-

считается как имитатор кремния. В обоих минералах каркас в качестве дополнительных В.С.Е. содержит 8- и 4-членные кольца, расположенные в слоях, параллельных [100], и связанных друг с другом Si-тетраэдром. За счет этого возникает группировка из 5-тетраэдров, называемых спиро-5. Каждое трехчленное кольцо в ней содержит по одному атому Be и Zn. Каналы двумерные вдоль [010] $\bar{9}$  (3,2 Å) и [100] $\bar{8}$  (3,6 Å). Плотность каркаса ПК=18,4.

Подотряд /959 пока включает один минерал — гускрикит —  $\text{Ca}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{16}] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Его символ /959411. Каркас кроме В.С.Е. 6—2 имеет группировку  $5=4^36^2$  (рис. 24, №2) состава  $\text{T}_9\text{O}_{18}$ . Каркас отличается от известных каркасов цеолитов [97]. Каналы трехмерные: [100] $\bar{8}$  (2,8 Å), [010] $\bar{8}$  (2,7 Å), [001] $\bar{8}$  (2,9 Å).\*

Важнейшим для классификации цеолитов является вопрос о написании химических формул. Во всех предыдущих подклассах состав минерала в первую очередь определялся отношением Т:О. В цеолитах же это всегда 1:2. Кроме того, в более низких таксонах принималось во внимание число катионов. Для цеолитов этот критерий также невозможен, из-за катионного обмена в каналах. Например, ион  $\text{Ca}^{2+}$  может замещаться на  $2\text{Na}^+$  с сохранением каркаса. Кроме того, для цеолитов характерно переменное количество катионов — в связи с заменой, например, части атомов Са на Na и, соответственно, замены части Si на Al.

В результате всех этих обстоятельств один и тот же минерал у разных авторов характеризуется разным составом. В качестве примера был рассмотрен выше состав эрионита.

Как показал Брек [21], в химическом составе одного минерального вида Si:Al меняется в широких пределах. Например, для стильбита отношение Si:Al=2,47—3,85, для филлипсита 1,3—2,2 и т.д. В результате он вводит понятие "идеализированный состав", правда, строго не излагая принципов его получения.

Для паулингита, который отнесен к иной группе, это будет  $(\text{K}, \text{Ca}, \text{Na})_2[\text{Si}_{11}\text{Al}_3\text{O}_{28}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  или  $(\text{K}, \text{Ca}, \text{Na})_4[\text{Si}_{22}\text{Al}_6\text{O}_{56}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  при желании согласовать формулу с отношением коэффициентов в соответствующей В.С.Е. Конечно, в обоих случаях формулы являются идеализированными.

В дальнейшем мы все же будем, как правило, приводить только формулу с минимальными коэффициентами.

В таблице 70, как было сказано выше, изложен принцип первого

\* Характеристика каналов дана по форме, принятой в [86].

деления отряда цеолитов на подотряды. Для того, чтобы разработать последующую схему их деления, достаточно воспользоваться группировками по типам каналов и по наличию тех или иных многогранных (возможно, только самых крупных) пустот.

Подробно разрабатывать систему с детальным описанием самих каркасов вряд ли целесообразно. Она не добавит ясности к процессу деления. Надо еще иметь в виду, что большинство цеолитов имеют специфические каркасы, свойственные только определенному минеральному виду. Поэтому каждый минерал представляет собою вид, род и семейство.

Таксон "род" в цеолитах следует понимать только как одинаковый каркас: независимо от отношения  $Si:Al$ , наличия тех или иных катионов, их относительного числа и количества молекул воды. И даже при этом расширенном (по отношению к другим силикатам) определении рода число таких родов, имеющих более одного вида, в цеолитах крайне невелико и ограничивается обычно только двумя видами.

Каждый подотряд цеолитов проще всего делить на семейства по типу каналов. Для характеристики каркаса достаточно указать тип многогранной полости и дополнительные В.С.Е.

Каналы бывают трех типов: одномерные, двумерные и трехмерные (рис. 33—35).

Одномерные, т.е. непересекающиеся. Они могут идти в одном направлении (рис. 33, а) или же по трем непересекающимся тройным осям. Например, параллельно  $[111]$  в кубической ячейке анальцима (рис. 33, б).

Двумерные каналы тоже бывают двух типов. В обоих случаях каналы разного размера (рис. 34). Большие каналы параллельны оси  $c$ , а малые — параллельны  $b$ . Они целиком пересекают большие каналы (случай б — например, у натролита) или соединяют их попарно (случай а — у морденита).

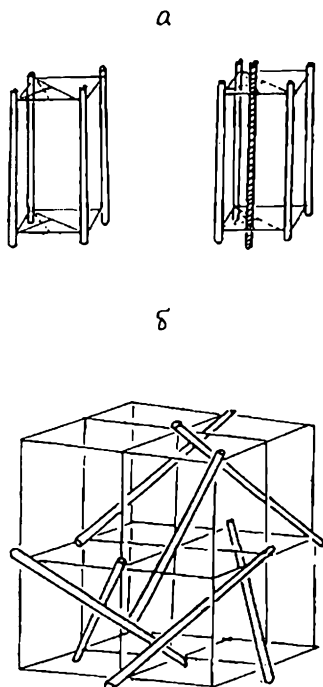


Рис. 33. Одномерные каналы: а — расположенные параллельно друг другу; б — расположенные по четырем непересекающимся направлениям

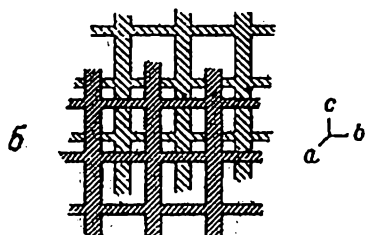
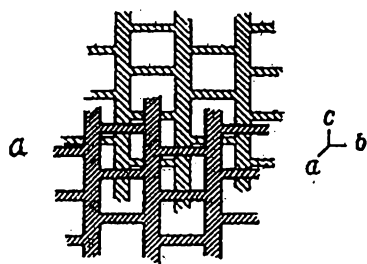


Рис. 34. Двумерные каналы: а — пересекающиеся попарно (морденит); б — целиком пересекающие друг друга (натролит)

Трехмерные каналы также двух типов. В первом случае каналы расположены только по осям  $a$ ,  $b$  и  $c$  элементарной ячейки (например, в кубической структуре) (рис. 35, а). Во втором случае имеется вторая независимая трехмерная система каналов (рис. 35, б), каналы которой пересекаются в центре ячейки ( $1/2, 1/2, 1/2$ ). В этом случае каналы обеих систем не пересекаются (см. паулингит).

Каждый канал желательно характеризовать формой поперечных колец и их размерами (хотя бы минимальных), а весь каркас — его плотностью (ПК) и формулой полиэдрических полостей. Этих данных вполне достаточно, чтобы по ним провести дальнейшую классификацию цеолитов.

Нам кажется, что типы каналов и их характеристики важнее В.С.Е. и их можно было бы использовать для первого деления структур цеолитов. Но поскольку факт первых делений, изложенный выше, принят

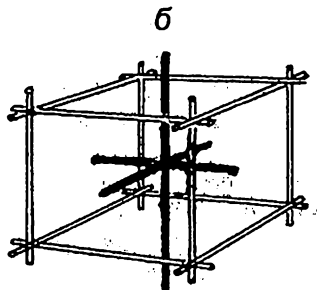
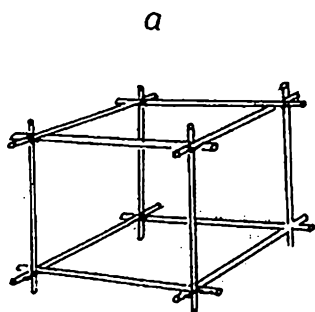


Рис. 35. Трехмерные каналы: а — пересекающиеся по трем координатным направлениям; б — две системы каналов, не пересекающиеся друг с другом (паулингит)



во всем мире, постольку приходится использовать его на дальнейших этапах классификации.

Мы предлагаем для деления подотрядов на семейства использовать типы каналов, отводя им в десятичном символе четвертый индекс после косой черты. Каждый тип каналов: одно-, двух- и трехмерных — встречается в двух вариантах. Используя их, получим 6 значений для таксона "семейство":

1 — для структур с одномерными каналами, идущими в одном направлении;

2 — для структур, содержащих одномерные каналы, расположенные по четырем непересекающимся диагональным направлениям;

3 — для структур с двумерными каналами, когда поперечные каналы не пересекают всех перпендикулярных к ним каналов, а соединяют их попарно;

4 — двумерные каналы, пересекающиеся целиком в одной плоскости;

5 — трехмерные каналы, пересекающиеся друг с другом по трем координатным направлениям;

6 — когда имеется две системы трехмерных каналов, не пересекающихся друг с другом.

В таблицах 71—76 собраны цеолиты всех шести отрядов (или групп — по принятой терминологии), с их краткой характеристикой. В первой графе указан десятичный символ каждого цеолита. В третьей графе цифра без скобок указывает основные В.С.Е., в скобках — дополнительные В.С.Е. В графе, характеризующей каналы, указано их направление; подчеркнуто число  $n$  в ограничивающих их кольцах, в скобках указан минимальный размер кольца (в Å). В последней графе дана либо ссылка на рисунок В.С.Е., либо указана форма многогранных полостей со ссылкой на соответствующий полиэдр, изображенный на рис. 24, №1—23.

Кроме цеолитов, собранных в последних шести таблицах, имеются несколько минералов, структура которых не укладывается в эти рамки. Три из них — ловдарит, гаултит и гускрикит были рассмотрены выше (с. 159—160).

Таблица 71. Подотряд /951, группа филлипсита 4(T<sub>4</sub>O<sub>8</sub>).

Название, формула, символ	Сингония и пр. гр.	В. С. Е., ПК	Характеристики каналов	Тип многогранных полостей (на рис. 24). Примечание
Ломонгит Ca[Si <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>12</sub> ] · 4 H <sub>2</sub> O /951111	Мон. <i>Aт</i> или <i>A2</i>	4, (6, 6—2) ПК=17,7	Одномерный [100]10, (4,0)	В. С. Е.: рис. 28, 29
Югаваралит Ca[Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>16</sub> ] · 4 H <sub>2</sub> O /951411	Мон. <i>Pc</i>	4, (5,8) ПК=18,3	Двумерные [100]8, (2,8) [001]8, (3,1)	В. С. Е.: рис. 28, 29
Жисмондин Ca[Si <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ] · 4 H <sub>2</sub> O /951421	Мон. <i>P2<sub>1</sub>/a</i>	4 (8) ПК=15,4	Двумерный: пересекаются [100]8, (3,1) [010]8, (2,8) размеры непостоянны	В. С. Е.: рис. 28, 29
Гарронит NaCa <sub>2,5</sub> [Si <sub>10</sub> Al <sub>6</sub> O <sub>32</sub> ] · 14 H <sub>2</sub> O /951422	Тетрагон.	4 (8) ПК=16,2	аналог жисмондина	
Амичит K <sub>4</sub> Na <sub>4</sub> [Si <sub>8</sub> Al <sub>8</sub> O <sub>32</sub> ] · 10 H <sub>2</sub> O /951423	Мон. <i>I2</i>		аналог гарронита	
Гоббиисит (Na <sub>2</sub> Ca) <sub>2</sub> [Si <sub>10</sub> Al <sub>6</sub> O <sub>32</sub> ] · 12 H <sub>2</sub> O /951424	Ромб. <i>Pm2<sub>1</sub></i>		аналог гарронита	
Филлипсит KCa[Si <sub>5</sub> Al <sub>3</sub> O <sub>16</sub> ] · 6 H <sub>2</sub> O /951511	Мон. <i>P2<sub>1</sub>/m</i>	4 (8) ПК=15,8	Трехмерные [100]8 (3,6) [010]8 ; 4 (3,0) [001]8 ; (3,2)	В. С. Е.: рис. 28, 29
Гармотом Ba[Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>16</sub> ] · 6 H <sub>2</sub> O /951512	Мон. <i>P2<sub>1</sub></i>	4 (8) ПК=15,9	аналог филлипсита	
Мерлионит (KNa) <sub>5</sub> (Ba, Ca) <sub>2</sub> [Si <sub>23</sub> Al <sub>9</sub> O <sub>64</sub> ] · 24 H <sub>2</sub> O /951521	Ромб. <i>Immm</i>	4 (8,8—8) ПК=16,0	Трехмерный [100]8 (3,1) [010]8 2,7[001]8 (3,4) и 8 (3,0)	18=4 <sup>12</sup> 6 <sup>8</sup> — №18 10=4 <sup>8</sup> 8 <sup>8</sup> — №8
Паулингит (K, Ca, Na) <sub>2</sub> [Si <sub>11</sub> Al <sub>3</sub> O <sub>28</sub> ] · 12 H <sub>2</sub> O /951611	Куб. <i>Im3m</i>	4 (6—6, 8—8) ПК=15,65	Трехмерный [100]8 (3,8) и [1/2 1/2 0]	26=4 <sup>12</sup> 6 <sup>8</sup> 8 <sup>6</sup> — № 23 18=4 <sup>12</sup> 8 <sup>6</sup> — № 18 14=4 <sup>6</sup> 6 <sup>8</sup> — № 12

Таблица 72. Подотряд /952, группа эрионита  $6(T_6O_{12})$

Название, формула, символ	Сингония и пр. гр.	В. С. Е., ПК	Характеристика каналов	Тип многогранных полостей (рис. 24).
Левиит (Ca,Na <sub>2</sub> ,K <sub>2</sub> )[Si <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>12</sub> ]·6H <sub>2</sub> O /952411	Триг. R3m	6 (4,6—6) 6 в последовательности AABCCABCC ПК=15,4	Двумерный ⊥ [001]8(3,6)	17=4 <sup>9</sup> 6 <sup>5</sup> 8 <sup>3</sup> — № 17 В. С. Е.: рис. 28, 29
Эрионит (K,Ca,Na) <sub>2</sub> [Si <sub>17</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>18</sub> ]·7H <sub>2</sub> O /952511	Гекс. P6 <sub>3</sub> /mmc	6 (4,6—6) 6 в последовательности AABAAC ПК=15,6	Трехмерный ⊥ [001]8(3,6)	11=4 <sup>6</sup> 6 <sup>5</sup> — № 9 23=4 <sup>12</sup> 6 <sup>5</sup> 8 <sup>6</sup> — № 22
Оффретит K(Ca,Mg) <sub>1,5</sub> [Si <sub>14</sub> Al <sub>4</sub> O <sub>36</sub> ]·14H <sub>2</sub> O /952521	Гекс. P6m2	6 (6—6) 6 в последовательности AABAAB ПК=15,5	Трехмерный [001]12(6,7), ⊥ [001]8(3,6)	11=4 <sup>6</sup> 6 <sup>5</sup> — № 11 14=4 <sup>6</sup> 6 <sup>2</sup> 8 <sup>3</sup> — № 13
Мацитит (Na <sub>2</sub> ,K <sub>2</sub> ,Ca,Mg) <sub>5</sub> [Si <sub>26</sub> Al <sub>10</sub> O <sub>72</sub> ]·28H <sub>2</sub> O /952531	Гекс. P6 <sub>3</sub> /mmc	6 (4,5—1) ПК=16,1	Трехмерный [001]12(7,4) ⊥ [001]8(3,4)	14=4 <sup>9</sup> 6 <sup>2</sup> 8 <sup>3</sup> — № 13

Таблица 73. Подотряд /954, группа шабазита  $6-6(T_{12}O_{24})$ .

Название, формула, символ	Сингония и пр. гр.	В. С. Е., ПК	Характеристика каналов	Тип многогранных полостей (рис. 24).
Фюзит (Na <sub>2</sub> ,Ca,Mg)[Si <sub>8</sub> Al <sub>4</sub> O <sub>24</sub> ]·15H <sub>2</sub> O /954511	Куб. Fd3m	6—6 (4 и 6—2)	Трехмерный [111]12(7,4) ПК=12,7	14=4 <sup>6</sup> 6 <sup>8</sup> — № 12 26=4 <sup>12</sup> 6 <sup>8</sup> 8 <sup>6</sup> — № 23 В. С. Е.: рис. 29
Гмелинит (Na <sub>2</sub> ,Ca)[Si <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>12</sub> ]·6H <sub>2</sub> O /954521	Гекс. P6 <sub>3</sub> /mmc	6—6 (4) ПК=14,6	Трехмерный [001]12 (7,0) [001]8(3,6)	8=4 <sup>6</sup> 6 <sup>2</sup> — № 7 14=4 <sup>9</sup> 6 <sup>2</sup> 8 <sup>3</sup> — № 13
Шабазит (Ca,Na <sub>2</sub> )[Si <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>12</sub> ]·7H <sub>2</sub> O /954531	Триг. P3m	6—6 (4 и 6) в последовательности AABCC ПК=14,6	Трехмерный ⊥ [001]8(3,8)	8=4 <sup>6</sup> 6 <sup>2</sup> — № 7 20=4 <sup>12</sup> 6 <sup>8</sup> 8 <sup>6</sup> — № 19
Гершелит Na <sub>2</sub> [Si <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>12</sub> ]·6H <sub>2</sub> O /954532	Триг.	каркас аналогичен шабазиту		
Уиллкендерсонит K,Ca[Si <sub>12</sub> Al <sub>3</sub> O <sub>12</sub> ]·5H <sub>2</sub> O /954533	Трикл. P1	каркас аналогичен шабазиту		
Богсит Na <sub>2,9</sub> Ca <sub>0,75</sub> Mg <sub>0,1</sub> [(Si,Al) <sub>96</sub> O <sub>129</sub> ]·70H <sub>2</sub> O /954411	Ромб.	6—6 (5—1,4)	Трехмерный [100]10 и 12	4=5 <sup>4</sup> — № 1 14=4 <sup>9</sup> 6 <sup>2</sup> 8 <sup>3</sup> — № 13

Таблица 74. Подотряд /955, группа натролита 4=1(T:O<sub>10</sub>).

Название, формула, символ	Сингония и пр. гр.	В. С. Е., ПК	Характеристика каналов	Тип много-гранных полостей. Примечание
Натролит $\text{Na}_2[\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ /955411	Ромб. <i>Fdd2</i> (псевдо-тетраг.)	4=1 ПК=17,8	Двухмерный [100]g(2,6) и [001]g — с непостоянным размером	Рис. 28, 31
Тетранатролит $\text{Na}_2[\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ /955421	Тетраг. <i>I42d</i>	4=1	аналог натролита	
Паранатролит $\text{Na}_2[\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ /955431	Псевдо-ромб.	4=1	аналог натролита	
Мезолит $\text{Na}_2\text{Ca}_2[\text{Si}_{18}\text{Al}_6\text{O}_{48}] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ /955441	Ромб. <i>Fdd2</i>	4=1	[100]g(2,6) аналог натролита	
Гоннардит $\text{Na}_2\text{Ca}[\text{Si}_6\text{Al}_4\text{O}_{20}] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ /955451	Ромб.	4=1 ПК=17,7	[100]g(2,6) аналог натролита и томсонита	
Томсонит $\text{NaCa}_2[\text{Si}_5\text{Al}_5\text{O}_{20}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ /955461	Ромб. <i>Pnn2</i>	4=1 ПК=17,7	Двухмерный [110]g(2,3) и [001]g — с непостоянным размером	
Эдингтонит $\text{Ba}_2[\text{Si}_6\text{Al}_4\text{O}_{22}] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ /955471	Ромб. <i>P21212</i>	4=1 ПК=16,8	Двухмерный [110]g(2,8) и [001]g — с непостоянным размером	
Сколецит $\text{Ca}[\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ /955481	Мон. Сс	4=1	g(2,6) аналог натролита	

Таблица 75. Подотряд /956, группа морденита 5—1 ( $T_6O_{12}$ ).

Название, формула, символ	Сингония и пр. гр.	В. С. Е., ПК	Характеристика каналов	Тип многогранных полостей (рис. 24). Примечание
Бикитаит $Li[Si_2AlO_6] \cdot H_2O$ /956111	Мон. $P2_1$ , псевдоромб.	5—1 ПК=20.2	Одномерные [001]8(2,8)	В. С. Е.: рис. 28
Триклинный бикитаит $Li[Si_2AlO_6] \cdot H_2O$ /956121	Трикл. $P1$	5—1	аналогичен бикитаиту; отличие — в полной упорядоченности	
Морденит $Na[Si_5AlO_{12}] \cdot 3H_2O$ /956311	Ромб. $Стст$	5—1 (4,8) ПК=17.2	Двумерные [001]12(6,5) [010]8(2,6)	$4=5^4$ — №1, рис. 32
Готтардит $NaCa_2[Si_{28}Al_6O_{68}] \cdot 24H_2O$ /956321	Ромб. $Стса$	5—1 (4,6)	Двумерные,    пл-ти $ab$ : [100]10(4,8) [010]12(6,3) — "змесвидный"	$4=5^4$ — №1 $6=5^4 6^2$ — №5
Феррьерит $NaMg[Si_{15}Al_3O_{36}] \cdot 9H_2O$ /956331	Ромб.	5—1 ПК=17,7	Двумерный [001]10(4,2) [010]8(3,5)	$4=5^4$ — №1
Моноклинный феррьерит $Na,K,Mg[Si_{30}Al_6O_{72}] \cdot 18H_2O$ /956341	Мон. $P2_1$	5—1	аналог феррьерита моноклинная разновидность феррьерита	
Дакнардит $Na_5[Si_{19}Al_5O_{48}] \cdot 12H_2O$ /956351	Мон. $C2/m$	5—1 ПК=17,3	Двумерные [010]10(3,4) [001]8(3,7)	$4=5^4$ — №1
Эпистильбит $Ca[Si_6Al_2O_{16}] \cdot 5H_2O$ /956361	Мон. $C2/m$	5—1 ПК=18,0	Двумерный [100]10(3,4) [001]8(3,7)	$4=5^4$ — №1

Таблица 76. Подотряд /957, группа гейландита 4—4=1 ( $\Gamma_9O_{18}$ )

Название, формула, символ	Сингония и пр.гр.	В.С.Е., ПК	Характеристика каналов	Тип многогранных полостей (рис.24). Примечание
Гейландит $Ca[Si_7Al_2O_{18}] \cdot 6H_2O$ /957411	Мон. <i>Cm</i>	4—4=1 (4,5) ПК=17,0	Двумерный $[100]_8$ (2,6) $\{[001]_{10}$ (3,0)+8(3,0) $\}$	$6=4^25^4$ — № 4 В.С.Е.: рис. 28,29
Клиноптилолит $(Na,K,Ca)_2[Si_{14}Al_4O_{36}] \cdot H_2O$ /957421	Мон. $2/m$ ( <i>C2/m</i> )	ПК=17.1	Каркас не изучен, вероятно, близок гейландиту	
Стильбит $NaCa_2[Si_{13}Al_5O_{36}] \cdot 14H_2O$ /957311	Мон. <i>F2/m</i>	4—4=1 (4,5) ПК=16,9	Двумерный $[100]_{10}$ (4,9), $[101]_8$ (2,7)	$6=4^25^4$ — № 4 В.С.Е.: рис. 28,29
Брюстерит $(Sr,Ba,Ca)[Si_6Al_2O_{18}] \cdot 5H_2O$ /957431	Мон. $P2_1/n$	4—4=1 (4,5 и 6) ПК=17,5	Двумерные $[100]_8$ (2,3), $[001]_8$ (2,8)	$6=4^25^4$ — № 4 В.С.Е.: рис. 28,29
Стеллерит $Ca[Si_7Al_2O_{18}] \cdot 7H_2O$ /957				
Баррерит $(Na,K,Ca)_2[Si_7Al_2O_{18}] \cdot 7H_2O$ /957				

## Заключение

В заключение — несколько слов об использовании разработанной системы. Как говорилось выше, названия минералов, как правило, не связаны с их составом. Кроме того, в минералогической литературе для очень многих минералов существует большое число синонимов. Нет и строгих правил для перевода названий минералов с одного языка на другой. Все это очень затрудняет поиск нужной информации. Указанные недостатки могут быть исключены, если наряду с названием минералов пользоваться их цифровыми символами. Десятичная система является для этого максимально удобной — как для ввода информации, так и для ее извлечения.

Мы прекрасно понимаем, что всякая десятичная система неудобна тем, что включение в нее новых объектов может повлечь за собой изменения индексов у тех, которые имелись ранее в банке данных. Чтобы, по возможности, этого избежать, мы оставляем в ряде разделов пустые места для найденных минералов. Однако полностью избежать этого невозможно — в принципе. Кроме того, не всегда разработан порядок написания объектов в рамках одного таксона: например, последовательность минеральных видов внутри одного рода и т.п.

Все эти вопросы требуют международного обсуждения и рекомендаций. С этих позиций нашу работу можно рассматривать как призыв к соответствующему обсуждению. Как быть с минералами, которые будут еще открыты? Мы предлагаем вводить их в систему, приписывая им нужный символ, но помечать его буквой "н", означающей, что это "новый" минерал. Так, например, представим себе, что будет найден минерал состава  $Mg_3[Si_2O_7]$  /121251, а в системе уже имеется минерал с тем же символом — ранкинит,  $Ca_3[Si_2O_7]$ . Теперь символ Са-минерала должен будет иметь в качестве последней цифры — 2, которая тоже занята. Запрос информации по данному символу будет включать сведения об обоих минералах. С этим можно мириться, пока сведения о вновь открываемых минералах ограничиваются одной, двумя статьями. В дальнейшем, когда будет найдено достаточное количество новых минералов, при переиздании системы (через много лет) должна быть введена и новая нумерация.

## Список использованных источников информации

1. Баканин В.В., Юданова Т.С. Кристаллические структуры силикатов. — Сиб. отд., Новосибирск: Наука. — 1981. — 73 с.
2. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. — М.: Недра. — 1976. — 344 с.
3. Белов Н.В., Пушаровский Д.Ю. и др. Проблемы кристаллохимии силикатов. — М.: Изд-во ВИНТИ. Итоги науки и техники, сер. кристаллохимия. 1980. — 14 — 183 с.
4. Белова Е.Н., Победимская Е.А. Очерки по структурной минералогии академика Н.В.Белова. — М.: Изд-во ВИНТИ. Итоги науки и техники, сер. кристаллохимия. — 1995. — 30. — 265 с.
5. Бетехтин А.Г. Минералогия. — М.: Госгеолиздат. — 1950. — 957 с.
6. Бокий Г.Б. // Зап. ВМО. — 1974. — 103, № 6 — С. 735—740.
7. Бокий Г.Б., Качанова Н.Н., Теппер Х.Н., Анисимова М.П. Тезаурус по минералогии. М.: изд. ВИНТИ. — 1976. — 1, — 1977. — 2, 1979. — 3, 1981. — 4, 1983. — 5.
8. Бокий Г.Б. // Докл. АН СССР. Минералогия. — 1984. — 274, № 5. — С. 1210—1214.
9. Бокий Г.Б. Индивиды минеральных видов в свете общей теории систем. В сб. "Методологические проблемы кристаллографии". — М.: Наука. — 1985. — С. 267—273.
10. Бокий Г.Б. Перспектива создания естественной классификации химических соединений, в том числе минералов. В сб. Труды института геологии и геофизики. Новосибирск: — 1985. — вып. 610. — С. 1—11.
11. Бокий Г.Б., Гинзбург И.В. Систематика минеральных видов в семействе пироксенов. В сб. Труды института геологии и геофизики. Новосибирск: — 1985. — вып. 610. — С. 12—35.
12. Бокий Г.Б. Вопросы классификации и системного подхода в минералогии. В сб. "Классификация в современной науке". Новосибирск: — 1989. — С. 87—102.
13. Бокий Г.Б. // Минерал. журнал. — 1992. — 14, № 6. — С. 47—60.
14. Бокий Г.Б., Врублевская З.В. // Минерал. журнал. — 1992. — 14, № 1. — С. 3—8.
15. Бокий Г.Б. // Зап. ВМО. — 1995. — 124, № 5. — С. 58—67.
16. Бокий Г.Б. // Кристаллография. — 1995. — 40, № 4. — С. 763—765.
17. Бокий Г.Б. // Зап. ВМО. — 1996. — 125, № 2. — С. 55—67.
18. Бокий Г.Б., Смирнова Н.Л. // Ж. структ. химии. — 1963, — 44, № 5. — С. 744—756.
19. Бокий Г.Б., Смирнова Н.Л. Проект тезауруса для понятия изоморфизм. // Региональная и генетическая минералогия. — 1979. — вып. 3. — С. 55—61.
20. Большая советская энциклопедия. — М.: — 1973. — 13.
21. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. — М.: Мир. — 1976. — 781 с.
22. Бреховских С.М., Прасолов А.П., Солинов В.Ф. Функциональная компьютерная систематика материалов, машин, изделий и технологий. — М.: Машиностроение. — 1995. — 551 с.
23. Винчел А., Винчел Г. Оптическая минералогия. — М.: ИЛ. — 1953. — 561 с.
24. Гассель О. Кристаллохимия. — Л.: Химтеорет. — 1936. — 200 с.
25. Годовиков А.А. Минералогия. — М.: Недра. — 1975. — 519 с.
26. Годовиков А.А. Химические основы систематики минералов. — М.: Недра. — 1979. — 300 с.
27. Годовиков А.А. Минералогия. — М.: Недра — 1983. — 626 с.
28. Дана Э.С. Описательная минералогия. — М.: Изд. геологоразв. и геодезич. литературы. — 1937. — 423 с.



29. Загальская Ю.Г., Белов Н.В. // Кристаллография. — 1963. — 8, вып. 4. — С. 533.
30. Забродин В.Ю. О критериях естественности классификации. Информационный анализ. — М.: НТИ. — 1981. — серия 2. — № 8. — С. 22—24.
31. Звягин Б.Б. Идентификация кристаллических структур слоистых минералов с помощью теории полиптиии. — Материалы XXVI сессии Международного конгресса. — М.: Наука. — 1980. — С. 88—98.
32. Звягин Б.Б. // Минерал. журнал. — 1979. — 1, № 1. — С. 99—100.
33. Кондаков Н.И. Логический словарь. — М.: Наука. — 1975. — 720 с.
34. Костов И. Минералогия. — М.: Мир. — 1971. — 584 с.
35. Костов И. Минералогия. — София: Техника. — 1993. — 743 с.
36. Лазаренко Е.К., Вынар О.Н. Минералогический словарь. — Киев: — Наукова Думка. — 1975. — 772 с.
37. Либану Ф. Структурная химия силикатов. — М.: Мир. — 1988. — 405 с.
38. Малиновский Ю.А., Галиулин Р.В. // Докл. АН СССР. — 1984. — 274, № 2, С. 324—328.
39. Минералогическая энциклопедия. Перевод с англ. под ред. А.Г.Булаха и В.Г.Кривович. — Ленинград. — Недра. — 1985. — 511 с.
40. Минералы. Справочник под ред. Ф.В.Чухрова. — М.: Наука. — 1972. — 3, вып. 1. — 882 с.; — 1981. — 3, вып. 2, 3. — 613, 392 с.; — 1992. — 4, вып. 1. — 598 с. — 4, вып. 2. — 661 с. Под ред. Г.Б.Бокия. — 1996. — 4, вып. 3. — 426 с.
41. Поваренных А.С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. — Киев: Наукова Думка. — 1966. — 547 с.
42. Пуцдаровский Ю.Д. Структурная минералогия силикатов и их синтетических аналогов. — М.: Недра. — 1986. — 160 с.
43. Расцветаева Р.К., Разманова З.П., Боруцкий Б.Е., Дорфман М. // Зап. ВМО. — 1990. — вып. 3. — С. 65—72.
44. Расцветаева Р.К., Победимская Е.А., Терентьева Л.Е., Сапожников А.Н. // Кристаллография. — 1993. — 38, вып. 2. — С. 94.
45. Сандомирский П.А., Белов Н.В. Кристаллохимия смешанных анионных радикалов. — М.: Наука. — 1984. — 205 с.
46. Семенов Е.И. Минералогические таблицы. — М.: Недра. — 1981. — 399 с.
47. Семенов Е.И. Систематика минералов. Справочник. — М.: Недра. — 1991. — 334 с.
48. Словарь терминов по информатике. — М.: Наука. — 1971. — 359 с.
49. Смольянинов Н.А. Практическое руководство по минералогии. — Л.: Гостеоиздат. — 1948. — 426 с.
50. Соболев В.С. Введение в минералогию силикатов. — Изд. Львовского университета. — 1949. — 341 с.
51. Смирнова Н.Л. // Кристаллография. — 1994. — 39, № 6, — С. 1032—1041.
52. Трифонов А.Н. Периодическая система элементов. История в таблицах. — М.: МПВХО им. Менделеева. — 1992. — 424 с.
53. Урусов В.С. // Природа. — 1983. — № 10(818). — С. 82—88.
54. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. — М.: изд. МГУ. — 1987. — 275 с.
55. Философский энциклопедический словарь. — М.: Сов. энцикл. — 1983. — 839 с.
56. Флейшер М. Словарь минеральных видов. — М.: Мир. — 1990. — 204 с.
57. Фрондел Дж. Минералогия Луны. — М.: Мир. — 1978. — 333 с. Перевод с англ.
58. Херлблат К., Клейн К. Минералогия по системе ДЭНА. — М.: Недра. — 1982. — 728 с.
59. Шаратов И.П. Метагеология. М.: Наука. — 1989. — 208 с.

60. Штрунц Г. Современная классификация минералов. 27-й Международный геологический конгресс. Докл. — 10. — Минералогия. — М.:1984. — С. 35—53.
61. Эванс Р. Введение в кристаллохимию. — М.: Госхимиздат. — 1948. — 367 с.
62. Якубович О.В., Симонов М.А., Волошин А.В., Пахомовская Я.А. // Кристаллография. — 1984. — 29, № 2. — С. 238.
63. Anthony J.W., Bèdeaux R.A., Wladh K.W., Nichols M.C. Handbook of Mineralogy. Tuckon. Miner. Data Publ. — 1995. — 2, part 1, 2. — 904 p.
64. Bailey S.W. // Amer. Mineral. — 1982. — 67, № 3/4. P. 394—398.
65. Bokij G.B. Perspectives of creation of Mineral Species Natural Classification. Proc. of 13-th General meeting of the International Mineralog. Ass. — Varna. — 1982. — P. 73—79.
66. Bokij G.B. // Comput.Math. Applic. — 1988. — 16, № 5—6. — P. 479—465.
67. Bokij G.B. Cristallogenetical Classification of Minerals. Marufin (ed). Advanced Mineralogy. — Heidelberg. — 1994. — 1. — P. 155—159.
68. Bragg W.L. // Z. Kristallogr. — 1930. — 74. — S. 237.
69. Brunner G.O., Meier W.M. // Nature. — 1989. — 337, № 6203. — P. 146.
70. Bulakh A.G., Krivovichev V.G., Zolotarev A.A. Classification and formulae of Minerale. — S.-P. — 1995. — 28 с.
71. Forbes W.C., Baur W. H., Khan A.A. // Amer. Mineral. — 1972. — 57, № 3/4. — P. 463.
72. Clark A.M. Hey's Mineral Index. Third edition. — 1993. — 852 p.
73. Grüner J.W. // Amer. Mineral. — 1934. — 19, № 12. — P. 557.
74. Hölzel A.R. Systematic of Minerale. — Mainz. — 1989. — 584 s.
75. Leake B.E. // Amer. Mineral. — 1978. — 63, № 11/12. — P. 1023—1052.
76. Libau F. Structural chemistry of Silicates.—B.: Springs. Verlag. — 1985. — 347 p.
77. Lima-de-Faria J. // Rev. Soc. ital. di mineral. a petrogr. — 1986. — 41(2). — P. 157—169.
78. Lima-de-Faria J., Moore P.B. The structural classification of Minerals. Marfunun (ed) advanced Mineralogy. — Heidelberg. — 1994. — 1. — P. 159.
79. Lima-de-Faria J., Figueiredo L.O. // J. Solid State Chem. — 1976. — 16. — P. 17—20.
80. Lister J.S., Baily S.W. // Amer. Miner. — 1965. — 50, № 7/8. — P. 868.
81. Machatscki F. // Zentralbl. Miner. Abl. Geol. Palaönt. — 1928. — S. 97.
82. Machatscki F. Spezielle Mineralogie auf Geochemistry. — Wien. — 1953. — 387 s.
83. Mandarino J.A. // Eur. J. Mineral. — 1996. — 8. — P. 1213—1222.
84. Marfunin A.C. (ed). The advanced Mineralogy. — Heidelberg. — 1994. — 1. — 164 p.
85. Meier W.M. Zeolite Structures — Molecular Sieves. — London. — 1968. — 511 p.
86. Meier W.M., Olson D.H. Atlas of Zeolite Structure Types. — Butterworths. — 1987. — Second Edition.
87. Mellini M., Merlino S. // Amer. Mineral. — 1982. — 66, № 7/8. — P. 852.
88. Merlino S. // Rend. ital. mineral. e petrol. — 1986. — 41, fasc. 2. — с.181—192.
89. Merlino S., Pasero M., Artioli G., Khomjakov A.P. // Amer. Mineral. — 1994. — 79, № 11/12. — P. 1185.
90. Moore P.B. // Neues Jarb. Mineral. Abh. — 1974. — 120, H. 2. — S. 208—228.
91. Moore P.B. // Neues Jarb. Mineral. Abh. — 1975. — 123, H. 2. — S. 148—159.
92. Moore P.B., Araki T. // Amer. Mineral. — 1983. — 68, № 7/8. — P. 804.
93. Naray-Szabo S.T. // Z. Phys. Chem. — 1930. — B9. — S. 356.
94. Nichel E.H. // Eur. J. Mineral. — 1995. — 7. — P. 1213—1215.
95. Nichel E.H., Mandarino J.A. // Miner. J. — 1987. — 13, № 8. — P. 505.
96. Parthe E. Element of Inorganic Structural Chemistry. — 1990. — 144 p.
97. Rouse C., Peacor D.P. // Amer. Mineral. — 1986. — 71, № 11/12. — P. 1494.

98. Shirozu H., Bailey S.W. // *Amer. Mineral.* — 1965. — 50, № 7/8. — P. 868.
99. Smith J.V. // *Miner. Soc. Amer., Spec. Paper.* — 1963.— № 1. — P. 281—290.
100. Smith J.V. // *Amer. Mineral.* — 1977. — 62, № 7/8 — P. 703—709.
101. Stillwell C.W. *Crystal Chemistry.* — Mc Grow-Hill Book Company. — New York and London. — 1938. — 431 p.
102. Strunz H. // *Z. Kristallogr.* — 1938. — 98. — S. 60.
103. Strunz H. *Mineralogischen Tabellen.* — Lipzig. — 1978. — 621 s.
104. Zoltai T. // *Amer. Mineral.* — 1960. — 45, № 9/10. — P. 960.
105. *Zeolite 97.* 5-th International Conference of the Occurrence, Properties and Utilization of Naturale Zeolites. Sept. 21—29. Naples. Italy. — 1997.