

температурного сольвуса и наклонной прямой не закаливается инверсии $C2/m \rightarrow C\bar{1}$ (что также не подчиняется «правилу 50%»). Выше 980° все составы от Ab_{100} до Or_{100} образуют *непрерывный изоморфный ряд* моноклинных щелочных полевых (единое поле стабильности), что в соответствии с представлениями Е.К. Лазаренко (1963) позволяет рассматривать их как один минеральный вид (назовем его *K*, *Na-сангидином*: разрывать его на два *виды* не следует, именно в силу его непрерывности). Существенно, что все семь выделенных минеральных видов не надуманны, а реально образуются в соответствующей геологической обстановке. В настоящее время никто из исследователей, знакомых с современными достижениями в области изучения полевошпатового вещества, не будет уже следовать формальным рекомендациям КНМНК — это равносильно возвращению к пещерным представлениям каменного века.

Сложнее обстоит дело с редкими минералами — как правило, плохо изученными. Генетические критерии в этом случае следует искать в структурно-текстурных взаимоотношениях между предполагаемыми минеральными видами. Заметим, что поскольку вид — это дискретная совокупность минеральных индивидов с тождественными свойствами, то один и тот же индивид (зерно, кристалл) не может одновременно принадлежать к нескольким минеральным видам. Отнесение к разным видам зон или секторов роста в кристалле, даже если это следует из формального применения *правила доминантности* («правила 50%»), которое распространено теперь уже на содержательные компоненты в отдельно взятой кристаллохимически-неэквивалентной позиции в структуре, является, по нашему мнению, нелепостью. Широкое применение этого правила без генетических обоснований в настоящее время открывает неограниченные возможности для бесконтрольного «размножения» минеральных видов за счет бывших химических и структурных разновидностей уже давно известных минералов.

Определенную сложность представляют наблюдаемые внутрискруктурные замещения компонентов в минеральных индивидах (ионный обмен), столь характерные для минералов с цеолитоподобной структурой. Фазовые границы внутри зерна отсутствуют, но четко проявляются тенденции к постепенному изменению содержания тех или иных компонентов от периферии к его центру или вдоль трещин. Особое место среди них занимают выделенные нами (Борудский, 1997; 1999) *минералы переменного состава с переменной структурой* (обозначим их условно как *МПСПС*). Образование таких минералов — специфическое *природное явление*, обусловленное способностью кристаллических структур вовлекать из минералообразующей среды огромное количество самых разнообразных химических микроэлементов, размещая их в подходящих структурных позициях, с частичной их перестройкой, не меняющей, однако, основного структурного мотива минерала. Несмотря на невиданную сложность и громоздкость таких структур, *МПСПС* оказываются устойчивыми и энергетически выгодными в

относительно низкотемпературных геохимических процессах (возможно, неравновесных), и чутко реагируют на локальное изменение химического состава растворов и кислотно-основное взаимодействие компонентов в минералообразующей (минералосохраняющей) среде. Характерным примером *МПСПС* являются рассматриваемые ниже эвдиалит-эвколиты.

Несколько слов оппонентам

«Науки делятся на естественные, неестественные и противоестественные».

Лев Ландау

Традиционное понимание минералогии привито автору его учителями — *минералогами-геологами*. Оппоненты (Расцветаева, 2006; Расцветаева, Чуканов, 2006), воодушевленные фантастическими успехами структурного анализа минералов в последние годы, пытаются (и не безуспешно) навязать минералогии исключительно *кристаллохимическое* её понимание, в том числе и по вопросам видообразования. Переубеждать их, вероятно, бесполезно — такова «болезнь» времени, тем более что они опираются на официально принятые рекомендации КНМНК ММА. Но промолчать по поводу некоторых из их замечаний невозможно: складывается впечатление, что они либо не понимают *принципиальных отличий* генетического подхода к данной проблеме и существа критики формального размножения (клонирования) уже известных минеральных видов, либо умышленно вводят читателей в заблуждение, приписывая нам аргументы, которые никогда не высказывались.

Так, Р.К. Расцветаева (2006) в предисловии к очередной «минералогической сказке», полагает, что главным «аргументом [автора] против «клонирования» минеральных видов... служит опасение, что их число чрезмерно возрастёт». Такой «подлог» уводит от сути дела. Проблема не в *количестве* видов, а в их *качестве*. Среди живых организмов насчитываются миллионы биологических видов, но все они *генетически* обоснованы прямыми наблюдениями в природе. Если основываться только на второстепенных, вторичных признаках, забывая про генетические, не исключены казусы, какой вышел, например, с бабочкой *Ornithoptera paradisea* (рис. 1). Подобный диморфизм в биологии широко распространен. Конечно, сейчас никто не станет относить петуха или павлина к одному виду, а курицу и паву — к другому, хотя внешне они весьма различны; другое дело — насекомые: их более миллиона видов, и в этом многообразии не мудрено запутаться и принять желаемое за действительное. Существенно различается окраска насекомых от региона к региону, особенно на изолированных островах. Резко меняется их облик в зависимости от возраста, стадии развития организмов, например, яйцо — гусеница — куколка — имаго у бабочек. Что общего между сторбленным червяком и крылатой «феей»? А это один и тот же биологический вид.

Так, и в минералогии: вряд ли кто осмелится открывать новые виды среди полевых шпатов — они слишком хорошо всем известны, хотя и здесь



Рис. 1. Эти внешне не похожие друг на друга бабочки относили к разным биологическим видам, пока не выяснилось, что верхняя — самец *Ornithoptera paradisea* (*Ornithoptera райская*), а нижняя — его подруга, самочка. Если не учитывать генетический аспект в вопросах видообразования, в минералогии можно наделать не меньше таких же досадных ошибок.

по незнанию можно «наломать дров». Другое дело — эвдиалиты; есть, где развернуться и «напустить тумана». Эвдиалит — минерал редкий. Суть проблемы по-настоящему понимают только несколько десятков человек в мире, но узнают они об очередном «открытии» уже после его утверждения КНМНК ММА; ведь «новые» минералы утверждают в тайне от заинтересованных исследователей, которые могли бы своевременно что-то возразить по существу. Ну, а «что написано пером — того не вырубить и топором», особенно, если минерал назван именем выдающегося ученого: возражая против выделения нового минерального вида, вы, как бы заодно порочите и ученого, которого вы уважаете, и имя, которое вам совсем не хотелось бы «трепать» по какому-либо поводу.

Оппоненты возражают против сопоставления минералогии с биологией, и вновь, не по существу. Комментировать критику (Расцветаева, Чуканов, 2006) о неправомочности такого сопоставления потому, что «минералы не размножаются и не наследуют хромосомы от своих родителей» просто не хочется. Но предположение, что если искать «генетический код» в минералогии, то «им могла бы быть элементарная ячейка кристалла, в которой заключена вся информация о природе и свойствах минерала», необходимо прокомментировать. Фундаментальные представления кристаллографии, что элементарная ячейка без изменений повторяется во всем объеме кристалла, уходят в прошлое. Реальная структура минерала существенно отличается от идеализированной, усредненной, наличием фрагментарности, блоковости, упорядоченности в распределении атомов по позициям, локальными нарушениями симметрии, дефектами и т.п., проявляющимися в некотором объеме кристаллической решетки, далеко выходящем за пределы элементарной ячейки. И именно эти особенности структуры в последнее время начинают детально изучаться и рассматриваться при выделении структурных разновидностей и даже новых видов. Абстрактная элементарная ячейка не способна их учитывать, да и её можно выделить по-разному в зависимости от

поставленной задачи. Например, для лучшего описания и сопоставления разных полевых шпатов специалистами используется более ёмкая гранцентрированная моноклиная ячейка с симметрией $C2/m$, вместо формальной $P2/m$, и триклинная $C\bar{1}$ вместо $P\bar{1}$. «Генетическим кодом» скорее мог бы быть тип кристаллической структуры, накладывающий ограничения на вхождение тех или иных компонентов. Хотя, конечно, в минералогии, так же как и в биологии, существуют механизмы, аналогичные мутациям, которые способны приспособить и тип структуры к изменению условий минералообразования.

В разделе «Принципы выделения минеральных видов» указанной статьи Р.К. Расцветаева и Н.В. Чуканов доказывают преимущество кристаллохимической систематизации перед всеми иными лишь тем, что она принята Международной минералогической ассоциацией. Да, к сожалению, принята, хотя еще А.К. Болдырев (1926) и А.Е. Ферсман (1938) предостерегали от формального деления изоморфного ряда на два вида, соответствующих крайним его членам, по принципу доминантности, настаивая на более обоснованном их разграничении, а Е.К. Лазаренко (1963), продолжая анализ данной проблемы, вообще считал противояственным делить непрерывный изоморфный ряд на минеральные виды именно потому, что он непрерывный, выделяя условно крайние его члены как разновидности. Автор согласен с аргументами данных исследователей, о чем и писал в предыдущих очерках (Боруцкий, 2005; 2006). Довод, что аналогичный принцип «использован в строго рациональной Женевской номенклатуре многих миллионов (!) органических соединений», несерьезен: минералогия — не химия (на что и указывал А.Е. Ферсман), а совсем другая наука — геологическая, то есть естественно-историческая, и её объекты (как бы ни хотели этого не замечать наши оппоненты) образуются независимо от нас и «живут» — в геологическом времени, изменяясь в зависимости от условий минералообразования, чем органическая химия, увы, похвастаться не может.

И последнее. В качестве критики отнесения непрерывного изоморфного ряда к единому минеральному виду оппоненты приводят «убийственный», по их мнению, пример: «Формально следуя этому правилу, мы должны отнести к одному минеральному виду такие пары минералов, как, например, золото и серебро. Но тогда как следует называть этот минеральный вид и как называть соответствующие месторождения?». Зачем опять вводить читателей в заблуждение? Оппоненты не могут не знать, что, хотя золото и серебро имеют одну и ту же структуру, кристаллизуясь в пространственной группе $Fm\bar{3}m$, непрерывного изоморфного ряда между ними в природе не существует, деление же воображаемого ряда по принципу доминантности было бы профанацией науки: в серебре обычно содержится не более 2–4% Au, достигая максимума в юстелите — 10% Au, а примесь Ag в золоте, как правило, не превышает 10–15%, максимально 30–45% в электруме, так что области существования золота и серебра в природе разделены естественными границами. Вывод о неограниченной рас-

творимости между Au и Ag, очевидно, происходит из химии и техники и необоснованно перенесен в природу. Конечно, если такие *естественные* Au, Ag-сплавы где-то будут обнаружены, то они должны быть выделены в качестве самостоятельного минерального вида и достойны либо нового названия, либо, может быть, расширения уже существующего понятия *электрум*. Что касается *золото-серебряных месторождений*, то переименовывать их во что-то иное совсем не обязательно, так как месторождения названы не по минералам, а по извлекаемому отсюда металлу и содержат кроме самородных золота и серебра ещё и другие многочисленные Au- и Ag-минералы.

В заключение на всякий случай поясним смысл эпиграфа к данному разделу возможным будущим оппонентам: не хотелось бы, чтобы прогресс в области кристаллохимии или других сферах превращал минералогию из естественной науки в противоестественную.

Что такое минерал переменного состава с переменной структурой – (МПСПС)

«Целый ряд природных продуктов не укладываются в рамки формул с простым и кратным отношением, а представляют промежуточные члены более сложного химического процесса...».

А.Е. Ферсман

Справедливости ради, следует сказать, что, как и многое в геологии, границы понятия МПСПС неопределенны. Любой минерал, даже постоянного состава, при изменении условий может быть «структурно-изменчив», и при этом может меняться даже пространственная группа симметрии (что, согласно рекомендациям КНМНК, является видообразующим критерием). Например, кварц SiO_2 бывает левым (пр. гр. $P3_121$) и правым ($P3_221$), низкотемпературным – α -кварцем ($P3_121$; $P3_221$) или высокотемпературным – β -кварцем ($P6_222$; $P6_422$). Причиной изменения пространственной группы в данном случае является всего лишь незначительное смещение атомов в кристаллической решетке, вызванное особенностями механизма роста или снижением температуры. Самостоятельные минеральные виды при этом благоразумно не выделяются. При охлаждении анортит $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ превращается из объемноцентрированного *I-анортита* ($I\bar{1}$) в примитивный *P-анортит* ($P\bar{1}$) также за счет небольшого смещения атомов Ca в неизменном каркасе, в котором Si и Al строго упорядочены из-за обязательной стехиометрии 2:2 (в силу незыблемости принципа Ловенштейна). И в этом случае данные анортиты рассматриваются «полевошпатчиками» как структурные разновидности, а не как разные минеральные виды.

Для любых минералов переменного состава структурные изменения также обычны – даже изовалентные изоморфные замещения разновалентных ионов приводят к расширению или сужению координационных полиэдров и соответствующему искажению углов между O-Si-O связями в силикатах, что сопровождается изменением линейных и

угловых параметров ячейки, как это, например, происходит в щелочных полевых шпатах. Ещё более заметные «искажения» структуры происходят при гетеровалентных изоморфных замещениях, при «блоковом» изоморфизме и т.п. Примером могут быть плагиоклазы, в которых блоки с альбитовой элементарной решеткой сосуществует с отличающейся по симметрии анортитовой. Отметим, что все эти изменения происходят внутри единого поля стабильности минерала, и хотя, формально они соответствуют рекомендациям КНМНК, комиссия не спешит провозгласить выделяемые специалистами разновидности самостоятельными видами. Однако, для некоторых групп минералов переменного состава силами отдельных «энтузиастов» такое интенсивное переосмысление минералогических данных уже началось, и необходимо остановить необоснованное размножение *формальных* минеральных видов.

В МПСПС структурные видоизменения, связанные с изменением химического состава, гипертрофированы настолько, что такие специфические минералы можно выделять в особую группу. Внимание к подобным объектам было привлечено ещё А.Е. Ферсманом (1914), который называл их «мутабильными», то есть способными к изменению «внутри вида» или, говоря биологическим языком, к мутациям. Какие же их особенности?

Во-первых, это минералы сложного состава с сложной структурой, допускающей вхождение в неё большого числа компонентов (катионов и анионов), существенно различающихся по размерам ионов, электростатическим зарядам и кислотно-основным свойствам, что сопровождается локальной перестройкой отдельных микрообластей структуры без разрушения сплошности единой кристаллической решетки. Нередко в таких структурах присутствует несколько *разнородных* радикалов, что, согласно Д.Ю. Пушаровскому (Кристаллохимическая систематика., 1985), «энергетически невыгодно» с точки зрения равновесной энергетики, поскольку не подчиняется «принципу экономичности» Л. Полинга, но в то же время, по-видимому, имеет какое-то преимущество перед агрегатом сосуществующих минералов с теми же самыми химическими компонентами, по крайней мере, в некоторых специфических минералообразующих процессах. Д.Ю. Пушаровский предполагает, что такие структуры могут образоваться при конкурирующем влиянии нескольких физико-химических факторов: в *постмагматических* процессах, при сравнительно невысоких температурах и давлении и обогащении минералообразующей среды легколетучими флюидами. Так, например, в эвдиалите одновременно присутствуют 3-членные $[\text{Si}_3\text{O}_6]$ и 9-членные $[\text{Si}_9\text{O}_{27}]$ кольца, причем последние, за счет включения в их центры дополнительных Si-тетраэдров или (Nb,Zr,Ti,W...)-октаэдров, могут превращаться в гофрированные «диски» $[\text{Si}_9\text{Si}_x\text{O}_{27}(\text{OH})]$ или $[\text{MSi}_9\text{O}_{27}(\text{OH})_3]$.

Во-вторых, в подобных структурах можно выделить более или менее *постоянный* каркас, состоящий не только из Si,Al-тетраэдров, но и постоянно присутствующих, связывающих их воедино некоторых других катионных группировок, а также *го-*

полнительные катионы, анионы или целые их группы, кластеры, которые могут входить в просторные полости или каналы. Состав этих дополнительных компонентов может широко меняться в результате ионообменных реакций между МПСПС и окружающей средой. То есть они имеют *целитоподобный* характер, но с более широким набором взаимозаменяемых компонентов, что позволяет данным минералам как бы «приспосабливаться» к изменению условий внешней среды. Вариации в химическом составе растворов, соотношение активностей компонентов и их кислотно-основное взаимодействие сказываются в первую очередь на составе *внекаркасных* дополнительных компонентов. Более существенные различия в химизме минералообразующей среды могут вызвать изменения и в составе самого *каркаса*.

В-третьих, из-за смещения координат изомерно замещаемых атомов при локальной перестройке структуры в ней образуются дополнительные или «расщепленные» позиции, настолько сближенные, что они не могут занимать атомами одновременно и потому заселяются частично, статистически, то есть возникают отдельные формально эквивалентные структурные позиции и даже целые микрообласти («модули») в структуре, связанные симметрией, с разным составом и строением. Вследствие этого происходит *локальное изменение симметрии* или нарушения в периодах идентичности, которые при экстраполяции на структуру в целом приводят к изменению пространственной группы или параметров ячейки (например, к её удвоению). Возникают даже ситуации, когда одни, «более жесткие», атомы распределены по более симметричному закону, а другие, «рыхлые» — по менее симметричному, то есть описываются внутри единой структуры разными пространственными группами.

В-четвертых, в одну и ту же структурную позицию могут входить разные химические элементы (естественно, со смещением координат атомов и изменением вида координационных многогранников) и, наоборот, один и тот же элемент может «размазываться» по разным позициям. Это создает часто непреодолимые трудности и при структурном анализе, и при выделении разновидностей (и видов), так как, с одной стороны, невозможно строго оценить заселенность позиции несколькими элементами одновременно, а с другой — необходимо уточнять структуру каждого из исследуемых микрообъемов образца, чтобы иметь объективное представление о распределении в ней элементов по позициям. В результате голотип может отличаться от непроверенного образца предположительно того же минерального вида.

В-пятых, дополнительные компоненты, как правило, являются *второстепенными примесями* в МПСПС, составляющими не более 5—10% от их состава, то есть не меняют химической индивидуальности данной фазы в геохимическом процессе и не могут «раздробить» поле её стабильности (во всяком случае, в литературе такие данные отсутствуют). С другой стороны, в МПСПС, как правило, одновременно входит целый набор дополнительных компонентов, и сводит единое многокомпонентное образование к двойному изоморфному ряду (или представить его в виде нескольких двойных рядов), очевидно, некорректно.

Отмеченные специфические особенности МПСПС, по нашему мнению, позволяют рассматривать их как непрерывные сложные многокомпонентные изоморфные ряды, то есть как единые минеральные виды с целым семейством химических, структурных и структурно-химических разновидностей, по крайней мере до тех пор, пока не будут приведены убедительные данные о существовании для последних самостоятельных полей стабильности в тех или иных геологических условиях. Необходимо понимать, что в данном случае подходить к химическим и структурным критериям видообразования, рекомендуемым КНМНК, следует с величайшей осторожностью, поскольку мы имеем дело не с настоящими полиморфами, а с незначительными смещениями атомов в позициях и явлениями типа «порядок-беспорядок» в распределении компонентов в решетке, понижающими её симметрию, понимать, что фиксация доминантности в позиции, занятой микропримесью, не имеет особого смысла, поскольку не затрагивают существа и химической индивидуальности минерала-хозяина. Между тем (вернемся к геологии) образование МПСПС как природное явление заслуживает самого внимательного анализа, так как они возникают в результате ионообменных реакций в ходе метасоматического преобразования пород или при более поздней перекристаллизации продуктов метасоматоза. Изменение химического состава минерала при этом часто сопровождается отсутствием четких фазовых границ, то есть признаков существования собственных полей стабильности. Такие взаимоотношения скорее всего указывают на незавершенность процессов, недостижение равновесия, метастабильность минеральных образований. Мы как бы «захватываем» природный процесс в развитии, имея возможность анализировать его стадии и направленность эволюции минералообразования, что позволяет использовать данные минералы как чуткие минералогические индикаторы.

Историческая «забывчивость»

«Нас интересовали рассеянные в тундре капли саамской крови, того замечательного камня Хибинских и Ловозерских тундр, имя которому эвдиалит, и нет ему равного во всем мире...».

А.Е. Ферсман «Воспоминания о камне»

Изучение эвдиалит-эвколитов имеет длительную и богатую историю, которая с непонятным упорством почему-то замалчивается современными исследователями. Дата рождения *эвдиалита* — 1801 г., когда Троммсдорф неожиданно обнаружил в красном *листоватом* «гранате» из Гренландии, с необъяснимо хорошей для граната спайностью, цирконий. Первый «полный» химический анализ его выполнен Ф. Штрөмеьером в 1818 г., если можно назвать полным определение всего пяти компонентов: Na₂O, CaO, FeO, SiO₂ и ZrO₂ в минерале, в котором в настоящее время установлено более 20 химических элементов. Но они в эвдиалите до сих пор действительно остаются главными, минералообразующими составляющими 85—90% его состава. В 1844 г. в Лангезундфьорде (Норвегия) был найден необычный «коричневый велерит»,

описанный еще и как «гиацинт», который позднее стал рассматриваться как самостоятельный минерал — *эвколит*. Но в 1857 г. Н. Мостлером и А. Дамуром было доказано, что он представляет собой обогащенную тяжелыми элементами *разновидность* эвдиалита, а А. Де Клаузо установил, что он отличается от эвдиалита оптически отрицательным знаком. Полное его описание дал В.С. Брётгер (Brögger, 1890); в составе этого эвколита П.Т. Клеве определил уже двенадцать компонентов: Na_2O , K_2O , CaO , FeO , MnO , Ce_2O_3 , Y_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , Nb_2O_5 , Cl и H_2O . Почти через 100 лет вариации химического состава эвдиалит-эвколитов из Лангезундфьорда были повторно исследованы Х. Боллингером с соавторами (Bollingberg *et al.*, 1983), подтвердившими, что норвежские эвколиты заметно обогащены ниобием и церием. Заметим, что различия в оптическом знаке серьезно осложнили «биографию» эвколита в будущем.

Еще раз подчеркнем, что *эвколит* — не самостоятельный минерал, а разновидность *эвдиалита*, обогащенная тяжелыми элементами, возникающая в несколько иной геологической обстановке. Минералоги этот термин, вопреки утверждению Р.К. Расцветаевой (2007), никогда «драматически» не закрывали — наоборот, пытались конкретизировать это понятие и уяснить то геолого-геохимическое явление, при котором эвколит образуется. Дальнейшие исследования показали, что в щелочных магматических комплексах, где эвдиалит-эвколиты наиболее распространены, можно обоснованно говорить о геохимически значимом, природном процессе *эвколитизации* эвдиалита на поздних стадиях минералообразования при изменении химизма минералообразующей среды.

Многие исследователи — С.Ф. Раммельсберг, П. Грот, В.С. Брётгер, К. Хинце, Э.С. Дана, Ф. Замбонини, Б. Госснер, Ф. Муссгнуг, В.Н. Захариасен, Ф. Махачки, В. Куниц и другие — пытались разобраться в крайне противоречивых данных о химическом составе, оптических свойствах и плотности эвдиалит-эвколитов, полученных к началу прошлого века, пока ещё на ограниченном числе образцов, поскольку этот редкий минерал был найден лишь в нескольких районах мира.

Данные о химическом составе и свойствах эвдиалит-эвколитов были существенно пополнены в результате экспедиционных работ А.Е. Ферсмана в Хибинском и Ловозерском массивах на Кольском п-ове (Минералы..., 1937; Minerals..., 1937), причем впервые они были увязаны с геологическими условиями нахождения минерала, так что роль отечественных исследователей в изучении эвдиалита трудно переоценить. Еще раньше В. Рамзай (Ramsay, 1893) описал зональные зерна кольского эвдиалита, с различным оптическим знаком и плотностью и высказал предположение о существовании изоморфного ряда между эвдиалитом и эвколитом, объясняющее связь свойств минерала с его химическим составом. Сейчас, когда исследователи вооружены микронзондом, подобный анализ кажется примитивным, но в кристаллооптический, структурный период минерало-петрологических исследований эти результаты были существенными и указывали на изменение минерального вещества

внутри отдельных индивидов эвдиалита. Первые фундаментальные данные об эвдиалит-эвколитах принадлежат Е.Е. Костылевой-Лабунцовой (Костылева, 1929; 1936). Систематическое изучение кольских эвдиалит-эвколитов вместе с отдельными образцами эвдиалита из массивов Кангердуарсук и Нарсарсук (Гренландия) и эвколита из Лангезундфьорда и Арё (Норвегия) и Арканзаса (США) позволило конкретизировать вывод о существовании изоморфного ряда между эвдиалитом, обогащенным Na, K и H, и эвколитом, обогащенным Ca, Mn, Fe и Mg. В этом ряду в том же направлении возрастают плотность минерала, показатели преломления, оптически положительный («+») знак меняется на оптически отрицательный («-»), и характерная малиново-красная окраска сменяется желто- и красно-бурой. Она провела также кристаллографическое их изучение и анализ парагенетических ассоциаций. Костылевой был сделан важный геолого-геохимический вывод о связи химического состава минерала с составом вмещающих пород, в частности, о преобладании в Хибинах эвколита и кальциевых акцессорных минералов, а эвдиалита и натриевых минералов — в Ловозере, а также кристаллографический вывод об отсутствии связи форм и габитуса кристаллов и отношения осей *c/a* от положения минерала в изоморфном ряду, то есть о зависимости «структуры» только от условий роста, независимо от их химического состава.

К сожалению, фундаментальность исследования Костылевой не была понята в должной мере. В.Г. Фекичев (Фекичев, 1963; 1965; 1973; 1979; Фекичев и др., 1965), внесший огромный вклад в дальнейшее изучение хибинского эвдиалита, попытался на основе полученных им новых данных ревизовать выводы Костылевой об эвдиалит-эвколитовом ряду. Он (Фекичев, 1963) упростил представления Костылевой, приписав ей примитивное деление изоморфного ряда на натриевые эвдиалиты («+») и кальциевые эвколиты («-»), забыв про остальные компоненты и их связь с плотностью, светопреломлением, окраской и геологическим положением, и предложил рассматривать понятия эвдиалит, мезодиалит и эвколит только как *оптические разновидности эвдиалита*, без непосредственной связи оптического знака с химическим составом. На основании изучения уже 150 образцов он выделил три типа хибинских эвдиалитов: 1) большую группу эвдиалитов *железистого* ряда, в которых $\text{Fe} > \text{Mn}$ (оптически «+», «-» и «±»), 2) эвдиалиты *марганцовистого* ряда, с $\text{Mn} > \text{Fe}$ (в основном «-») и 3) *водные и водно-кальциевые* эвдиалиты, содержащие значительное количество воды при пониженном содержании щелочей и дефиците натрия. Выяснено, что первые характерны для хибинитов, ийолит-уртитов и лявочорритов (но встречаются и в других комплексах), вторые — для фойитов и рисчорритов «юкспорского типа», третьи — для рисчорритов «поачвумчоррского типа». Фекичевым составлена диаграмма « n_x/n_y » с выделением полей «+» и «-» разностей, на которой, как он почему-то полагал, не просматривается прямой зависимости оптического знака от величины светопреломления, хотя наиболее распространенные *железистые* эвдиалиты (как «+», так и «-») внутри отдельных индивидов эвдиалита.

занимают на диаграмме срединное положение, а *водно-калиевые* (оптически «+») и все *марганцовистые* (оптически «-») — крайнее левое и крайнее правое положения соответственно. Таким образом, подчеркивая отличие своих выводов от закономерностей, найденных Костылевой, он, тем не менее, фактически их подтвердил, так как увеличение содержания суммы Fe (особенно окисного), Mn и в меньшей степени REE действительно повышает светопреломление, а воды — понижает.

Затем В.Г. Фекличевым (1979) детальнейшим образом обработано 13 новых анализов хибинского эвдиалита и показано, что объем ячейки все же варьируется от 1743 до 1794 Å³ и наибольшее его значение имеют эвдиалиты, обогащенные K и H₂O⁺, замещающими Na, а по мере замещения Na на Mn, Ca на REE и Fe²⁺ на Fe³⁺, Nb, Ta, Ti или Zr объем ячейки уменьшается. В том же направлении возрастает плотность (от 2.74 до 3.03), что коррелируется с увеличением числа оптически «-» разностей. Исследуя характерную малиновую окраску эвдиалита с помощью спектров оптического поглощения в области 400–700 нм, он пришел к выводу, что она скорее всего связана с Mn³⁺ (максимум поглощения 520 нм); Fe²⁺, Fe³⁺ и Ti на окраску эвдиалита не влияют, но коричневые и желтые разности вероятнее всего окрашены Fe³⁺. Забегая вперед, скажем, что этот вывод не подтвердился: характерная малиново-красная окраска эвдиалита, подобно джиллеспитовой, обусловлена именно Fe²⁺, но в необычной «квадратной» его координации (Pol'shin *et al.*, 1991).

Таким образом, В.Г. Фекличев не понял основной идеи работ Е.Е. Костылевой-Лабунцовой, показавшей, что *эвколит* — это не только оптически отрицательный знак, но и в первую очередь вхождение в эвдиалит тяжелых высокозарядных атомов, но его исследования подтвердили, что этот процесс сопровождается также уменьшением размеров ячейки, увеличением плотности, показателей преломления и в том числе изменением ориентации оптической индикатрисы.

Химический состав эвдиалита всю жизнь детально исследовала Ирина Дмитриевна Борнеман-Старынкевич (1945; 1975). В докторской её диссертации (1945) обработано 23 полных анализа, в последней работе (1975) — уже 88. Вариации содержания компонентов в эвдиалитах, по её данным (%): SiO₂ 43.4–52.5, ZrO₂ 9.1–16.4, TiO₂ 0–4.0, (Nb,Ta)₂O₅ 0–3.7, Al₂O₃ 0–2.9, Fe₂O₃ 0–6.7, FeO 0–7.3, MgO 0–1.8, MnO 0.2–11.1, (Ca,Sr)O 3.5–15.9, REE₂O₃ 0–8.2, Na₂O 7.5–15.9, K₂O 0–3.8, Cl 0–2.4, H₂O 0–3.1². Ирина Дмитриевна подходила к исследованиям как химик, и главной её задачей был, естественно, вывод химической формулы минерала, но она не осталась в стороне и от анализа эвдиалит-эвколитовой проблемы. Деление на эвдиалит и эвколит она проводила по оптическому знаку, не осознавая полностью, что он отражает всего лишь соотношение между значениями n_o и n_e , и гораздо более информативны абсолютные величины светопреломления, и плотности минерала.

Первоначально (Борнеман-Старынкевич, 1945) она пришла к выводу, что смена «+» знака на «-» и увеличение плотности (свыше 2.94) в эвдиалит-эвколитовом ряду коррелируется в основном с частичным замещением (Na₂ZrSi₃O₉ + Na₃Si₃O₆(OH)₃) на (NaCeFeSi₃O₉ + Ca₂FeSi₃O₉). Однако при этом был установлен избыток Na и неясна роль Nb и Ti. Как последовательная ученица В.И. Вернадского, Ирина Дмитриевна предположила, что избыточный натрий с хлором образуют «боковую связь» (термин В.И. Вернадского), а примесь Nb и Ti в эвдиалите обусловлена микровключением лопарита. Поскольку она постоянно пользовалась консультациями патриарха нашей кристаллографии академика Н.В. Белова, то, когда выяснилось, что параметры ячейки в пределах всего эвдиалит-эвколитового ряда меняются незначительно, появилось основание для нормирования результатов всех анализов (в том числе и рентгеновски не изученных) по объему ромбоэдрической ячейки (1760 Å³ — Гольшев и др., 1971 или 1793 Å³ — Gossner, Mussgnug, 1930) и измеренной плотности. Результаты пересчета вызвали недоумение: в 34 из 60 наиболее надежных анализов коэффициент при Si оказался наиболее близким к 25, в 18-ти — 26, и в остальных восьми — 24, что ранее считалось невозможным для силикатов и алюмосиликатов — минералов с постоянным Si,Al-радикалом. Коэффициенты при группах A (Na, K, Ca, Sr, REE, Mn) и B (Zr, Fe³⁺, Fe²⁺, Mg, Mn, Ti, Al, Nb, Ta) не были постоянными, и сложную формулу нельзя было «упростить», сократив на «число формульных единиц». Расшифровка структуры эвдиалита (Giuseppetti *et al.*, 1970; 1971; Гольшев и др., 1971; 1972) дала структурное объяснение этому факту. Минерал к тому же оказался цеолитоподобным ионообменником, что фактически соответствовало предположению о наличии «боковых групп» в эвдиалите, однако состав их расширился до (Na,K,Ca,Sr,Ba,REE,Mn)₅(O,OH,Cl)₁₀ (Борнеман-Старынкевич, 1975).

Данные о типоморфизме хибинских эвдиалит-эвколитов в различных комплексах пород массива систематизированы в работе «Минералогия Хибинского массива» (1978), где приведены также новые анализы образцов, использованных нами в дальнейшем для уточнения кристаллической структуры ряда их разновидностей. Таким образом, возвращение к истории изучения эвдиалита позволяет сделать несколько важных выводов.

Во-первых, эвдиалит — минерал сложного переменного состава, закономерно меняющегося в зависимости от изменения химизма среды минералообразования, что позволяет использовать типоморфные его особенности в качестве минералогического индикатора геолого-геохимических условий генезиса и эволюции пород, пегматитов и некоторых рудных тел.

Во-вторых, разновидности эвдиалита могут быть описаны внутри естественного эвдиалит-эвколитового изоморфного ряда, в котором изменение химического состава коррелируется с объемом

² — В настоящее время этот список можно уточнить и дополнить: TiO₂ — до 6.0 и Nb₂O₅ — до 3.9, HfO₂ — до 0.75, Ta₂O₅ — до 6.3, WO₃ — до 1.3, SrO — до 8.9, La₂O₃ — до 2.5, Ce₂O₃ — до 3.9, Nd₂O₃ — до 0.8, Pr₂O₃ — до 0.3, Y₂O₃ — до 1.6, F — до 1.2, CO₂ — до 0.8, SO₃ — до 1.65.

элементарной ячейки, плотностью, показателями светопреломления, оптическим знаком, окраской и другими свойствами. Однако этот ряд не может быть описан как простой двойной изоморфный или разбит на серию изоморфных рядов — это совместное вхождение в структуру сопряженного комплекса компонентов, поэлементный состав которых определяется химизмом среды и возможностями кристаллической структуры данного типа.

В-третьих, геохимически значимым процессом в природе является «эвколитизация» эвдиалита, выражающаяся в обогащении минерала тяжелыми многовалентными химическими элементами в породах менее высокой щелочности-основности или при снижении её в ходе поздней эволюции щелочных комплексов.

В-четвертых, детали и механизмы этого замещения, то есть сама природа данного минерала не могли быть поняты без определения кристаллических структур эвдиалита и его разновидностей, в частности, структур эвколитов разного состава.

Эвдиалит – как минерал переменного состава с переменной структурой

О кристаллохимических особенностях *эвдиалита* написаны прекрасные обзоры (Расцветоваева, Борущкий, 1988; Расцветоваева, 1992; Johnsen, Grice, 1999; Расцветоваева, Хомяков, 2001; Расцветоваева, Чуканов, 2006; Расцветоваева, 2007), и нет необходимости их пересказывать. Успехи кристаллохимии очевидны, но, к сожалению, благодаря им в последние годы проблема эвдиалита стремительно ушла из минералого-геохимической плоскости в структурно-химическую, порвав связи с геологией. Хотя автор не является специалистом в области структурного анализа, он тем не менее считает необходимым дать некоторые комментарии не только в генетическом, но и в структурном аспектах данной проблемы.

Структурно-химический этап в изучении эвдиалита начался в 1971 – 1972 гг., когда Дж. Джузепетти с соавторами (Giuseppetti *et al.*, 1970; 1971) на материале из Гренландии и независимо от них В.М. Гольшевым с соавторами (1971; 1972) на аналогичном материале из пегматита в урритах горы Юкспор в Хибинах (Дорффман, 1962), фотометодом была расшифрована принципиальная кристаллическая его структура. Некоторые из загадок эвдиалита (в частности, о природе переменного содержания кремния)³ прояснились, но возникли новые — кристаллографы разошлись в выводах о симметрии структуры и о характере заселения позиций. Джузепетти с соавторами подтвердили свойственную его кристаллам центросимметричную пространственную группу $R\bar{3}m$, а Гольшев с соавторами при дальнейшей детализации структуры снизили ис-

тинную симметрию до ацентричной группы $R3m$. Выяснилось, что для эвдиалита оказались возможными даже три пространственные группы симметрии: $R\bar{3}m$, $R3m$ и $R32$ с подгруппой $R3$, так как было установлено, что расположение некоторых атомов, в частности Na и Fe, указывает на утрату центра симметрии, поворотных осей 2 и исчезновение плоскостей симметрии. Согласно Джузепетти, для этих компонентов также были установлены увеличенные и асимметричные эллипсоиды термических колебаний, а Гольшев указывал, что катионы Na статистически «блуждают» по свободным камерам цеолитоподобного эвдиалита.

Таким образом, сразу было показано, что изменение симметрии обусловлено всего лишь слабым искажением структуры, смещением ряда слабо закрепленных атомов. Но в настоящее время, к сожалению, различиям в симметрии придается слишком большое значение, и эти отклонения используются уже для классификации минералов «группы» эвдиалита (Khomyakov, 2004; Хомяков и др., 2006) и для «размножения» минеральных видов, так как при этом увеличивается число неэквивалентных позиций в структуре, на которые можно распространить «правило доминантности». В результате расшифровки структуры эвдиалита был сделан главный вывод: минерал является цирконийсодержащим аналогом цеолитов, с более или менее постоянным каркасом, усложняемым вхождением дополнительных атомов Si (или Zr), и «внекаркасных» катионов и анионов, занимающих полости в каркасе, положение которых не могло быть конкретизировано фотометодом. Кроме того, оставались невыясненными структурные аспекты природы эвколита.

Структурно-химическое изучение эвдиалит-эвколитов было продолжено в конце 80-х — начале 90-х гг. Р.К. Расцветоваевой на нашем материале с использованием диффрактометра Энраф-Нюниус и системы программ AREN. Сейчас на эти работы практически не ссылаются. Почему? Будучи «пионерскими», они, конечно, имели недостатки, но на их основе получены *принципиальные выводы*, и именно эти структурные работы явились *фундаментальной основой* для выделения автором (Борущкий, 1997; 1999) *минералов переменного состава с переменной структурой (МПСПС)* и *структурного обоснования* правомочности выделения нашими предшественниками «*эвдиалит-эвколитового*» ряда с конкретизацией изоморфных замещений, происходящих в ходе природного процесса *эвколитизации* эвдиалита. По-видимому, при сегодняшнем размножении нынешними «селекционерами» эвдиалитовых минеральных видов, необоснованно раздувающихся так называемую группу эвдиалита и поспешно разрабатывающихся их номенклатуру (Johnsen, Grice, 1999; Johnsen *et al.*,

³ — В итальянском варианте содержание ячейки $Na_{12}Ca_6Fe_3Zr_{3,36}Si_{24}O_{72}Cl_{0,68}$ ($Z = 3$), нормировалось на 24 атома Si, распределено по трем тетраэдрическим позициям: Si₁ в 3-членных кольцах $[Si_3O_9]$, Si₂ и Si₃ в 9-членных кольцах $[Si_9O_{27}]$, из-за чего возник избыток циркония, помещенного авторами в центр 9-членного кольца. Если бы нормирование проводилось на 25 атомов Si, этого бы не случилось, и они пришли бы к российскому варианту структуры. В российской работе состав $Na_{14}Ca_6Fe_3Zr_3Si_{25}O_{80}Cl_{1,6}$ ($Z = 3$) распределен по позициям, расщепленным в соответствии с ацентричной группой $R3m$ и выделены 8 позиций кремния: Si₁ и Si₂ в 3-членных кольцах $[Si_3O_9]$, Si₃, Si₄, Si₅ и Si₆ в 9-членных кольцах $[Si_9O_{27}]$ и два «дополнительных» атома кремния Si₇ и Si₈, с к.з. (коэффициентами заселенности) по 0,5, входящими в центры 9-членных колец и превращающими их в «соро-радикалы» $[Si_{10}O_{24}(OH)_3]$

2003; Khomyakov, 2004; Хомяков и др., 2006), об этих работах вспоминать невыгодно.

В данном цикле работ на аналогичном материале из ийолит-уртитов Хибинского массива (образец М.Н. Соколовой № 817/М, гора Расвумчорр, табл. 1, п/п 3), максимально близком по химическому составу и свойствам эвдиалиту М.Д. Дорфмана (1962) с горы Юкспор (табл. 1, п/п 2), прежде всего была детализирована кристаллическая структура собственно эвдиалита (Расцветаева, Андрианов, 1987; Расцветаева, Боруцкий, 1988). Изучение структуры эвдиалита более совершенным методом позволило уточнить координаты всех внекаркасных атомов, выявить новые их позиции, а также установить наличие некоторых «расщепленных» и «сближенных» позиций, которые могут занимать атомами разного состава, валентности и размера только статистически.

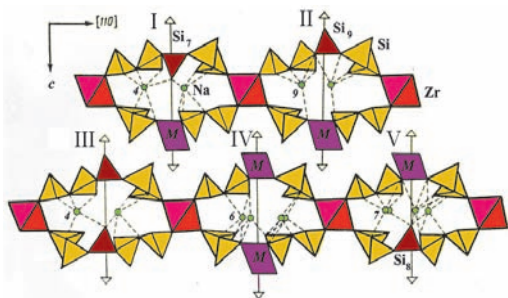
Было показано, что 9-членные кольца $[Si_9O_{27}]$ центрируются одновременно как «дополнительными» Si-тетраэдрами, так и «дополнительными» октаэдрами, с различной ориентацией: «дополнительный» кремний оказался «размазанным» по позиции Si_7 и новой позиции Si_9 с к.з. 0.53 и 0.37 в верхнем кольце, а также Si_8 с к.з. 0.43 в нижнем. В «дополнительный» октаэдр в нижнем кольце с к.з. 0.30, по-видимому, был занят алюминием. Выявление «дополнительного» Al-октаэдра показало, что в случае избытка Zr (Giuseppetti *et al.*, 1971) или других многовалентных катионов (Nb, Ti) эта позиция может занимать ими совместно с алюминием или вместо него. Принципиальным является обнаружение возможности вхождения в квадратную «железную» позицию $[^{41}Fe^{2+}]$ других элементов со смещением координат и превращением «квадрата» в иные координационные многогранники: пятивершинник (пирамида) в случае Fe^{3+} или Mn^{2+} и октаэдр в случае Ti^{4+} или статистического замещения её двумя октаэдрами Na_7 и Na_{15} , отстоящими от центра $[^{41}Fe]$ на 2.0 и 1.05 Å. Вместо четырех позиций Na, выявленных фотометодом, установлено 15 его позиций и одна позиция калия. Три из них находятся в центральной полости (2.5×6.5 Å) внутри связанных псевдоцент-

ром симметрии 9-членных колец: Na_4 на плоскости симметрии (7-вершинник) и отстоящая от неё на 0.52 Å и на 1.54 Å позиции Na_{12} и Na_6 в общем положении (последняя снижает локальную симметрию до $R3$). Выше и ниже этой полости существуют две «цеолитовые» камеры (7.5×8.0 Å), связанные псевдоцентром симметрии, но заселенные неодинаково. В верхней камере на плоскостях симметрии найдены позиция Na_2 (9-вершинник) с отстоящей от неё на 0.93 Å позицией Na_5 и позиция калия (10-вершинник), а по обе стороны от неё на расстояниях 0.50 и 0.40 Å две позиции Na_9 и Na_{10} , а также на тройной оси отстоящая от позиции Na_7 на 0.51 Å позиция Na_{14} . В нижней на плоскостях симметрии найдена позиция Na_1 (10-вершинник) с отщепленной от неё на 0.51 Å позицией Na_{11} (куда входит Sr) и позиция Na_3 (7-вершинник), связанная с атомом Cl_1 , с отщепленной от неё на 0.70 Å позицией Na_8 , а на тройной оси, вблизи Na_{15} позиция Na_{13} . На основе данной структуры эвдиалита могут быть описаны структуры всех его разновидностей.

Затем были расшифрованы структуры пяти эвколитов: из эгиринсалит-ортоклазового пегматита в хибинитах горы Часночорр, Хибины (№ 638, табл. 1, п/п 4) (Расцветаева и др., 1988), двух эвколитов контрастного состава (Расцветаева, Боруцкий, 1990): *редкоземельно-железистого* (REE_2O_3 4.13, FeO 5.11, Fe_2O_3 0.97, MnO 2.29 мас. %) из альбитизированного арфведсонит-микроклинового пегматита в хибинитах горы Петрелууса, Хибины (№ 325, табл. 1, п/п 5) (Минералогия Хибинского массива, 1978) и *редкоземельно-марганцевого* (REE_2O_3 5.36, FeO 2.53, Fe_2O_3 1.56, MnO 5.92 мас. %) из пегматита в нефелиновых сиенитах Енисейского кряжа (№ 1008-6, табл. 1, п/п 6) (Свешникова, Бурова, 1965), физические и спектроскопические свойства которых были изучены нами ранее (Боруцкий и др., 1968), а также двух образцов, известных в литературе, как «красно-бурый» и «желтовато-зеленый» *барсановиты* (Дорфман и др., 1963; 1965) из свалов в русле р. Петрелууса, Хибины, соответствующих по составу и свойствам типичным эвколитам (табл. 1, п/п 7–8) (Расцветаева и др., 1987; 1990).

Детальный анализ структур эвколитов разного состава (Расцветаева и др., 1987; 1988; 1990; Расцветаева, Боруцкий, 1990; Расцветаева, 1992) показал, что вхождение в них тяжелых многовалентных элементов приводит к асимметризации кристаллической решетки, в первую очередь, к утрате центра симметрии. «Дополнительные» атомы Si, «размазанные» по центрам 9-членных колец, имеют тенденцию к обособлению в верхнем кольце, а атомы Zr, Ti, Nb, Al в «дополнительных» октаэдрах в нижнем. Теоретически возможны пять вариантов статистического заселения центров обоих 9-членных колец «дополнительными» катионами в виде тетраэдров и октаэдров с различной ориентировкой, что сопровождается соответствующим изменением вариантов заселенности центральной полости атомами Na (рис. 2). В эвколите № 638 заселение идет по смешанному варианту: «дополнительные» атомы кремния «размазаны» по позициям Si_7 (к.з. 0.60), Si_9 (к.з. 0.21) в верхнем кольце и Si_8 (к.з. 0.28) в нижнем, титан (к.з. 0.16) локализован в верхнем, а ниобий и алюминий (к.з. 0.71) — в позиции M_1

Рис. 2. Пять возможных вариантов заселения центров трансляционно-идентичных 9-членных кремнекислородных колец $[Si_9O_{27}]$ «дополнительными» Si-тетраэдрами и M-октаэдрами в эвдиалит-эвколитах с соответствующим им распределением атомов натрия в «центральной цеолитовой» полости. По Р.К. Расцветаевой и др. (1988). В реальных структурах наблюдается статистическое заселение позиций по различным сочетающимся вариантам.



- 29 *Ferrokenbrooksit*
R3m
Mont Saint-Hilaire
Quebec, Canada
 $\{Na_{13.03}REe_{0.99}K_{0.32}Ca_{0.23}Sr_{0.15}\}_{\Sigma 14.74}\{Ca_{.59}Mn_{1.24}Y_{0.17}\}_{\Sigma 6.00}\{Fe_{2.39}Mn_{0.61}\}_{\Sigma 3.00}\{Zr_{3.00}Ti_{0.04}Hf_{0.03}\}_{\Sigma 3.07} \times \{Nb_{0.64}Si_{0.23}Zr_{0.07}Ta_{0.02}\}_{\Sigma 0.93}\{Si_{2.93}Al_{0.07}\}_{\Sigma 2.50}O_7\{O, OH, H_2O\}_{\Sigma 2.47}\{Cl_{0.89}F_{0.07}\}_{\Sigma 0.40}\{OH_{0.40}\}_{\Sigma 2.00} (\Sigma \text{ anions} = 77.47)$
 $Na_{15}Ca_6(Fe, Mn)_3Zr_3NbSi_2O_7(O, OH, H_2O)_3(Cl, F, OH)_2$ Johnsen et al., 2003
- 30 *Manganhomyakovite*
R3m
Mont Saint-Hilaire
Quebec, Canada
 $\{Na_{11.51}Ca_{0.25}K_{0.30}Sr_{0.04}REe_{0.07}\}_{\Sigma 12.17}\{Sr_1\{Ca_2\}\{Mn_{2.04}Fe_{1.23}\}_{\Sigma 2.27}\{Zr_{2.91}Hf_{0.05}Ti_{0.01}\}_{\Sigma 2.95}\{W_{0.66}Nb_{0.41}Ta_{0.01}\}_{\Sigma 1.08} \times \{Si_{2.46}Al_{0.01}\}_{\Sigma 2.46}O_7\{O, OH, H_2O\}_{\Sigma 2.70}\{OH_{1.19}Cl_{0.81}\}_{\Sigma 2.00} \dots (\Sigma \text{ anions} = 78.70)$
 $Na_{12}Sr_3Ca_3Mn_3Zr_3W(Si_2O_7)_3(O, OH, H_2O)_3(OH)_2$ Johnsen et al., 1999
- 31 *Carbokenbrooksit*
R3m
Dara-i-Pioz,
Tajikistan
 $Na_{10.8}K_{0.4}Ca_{6.2}Sr_{0.3}Fe_{1.0}Mn_{2.5}La_{0.4}Ce_{0.6}Pr_{0.1}Nd_{0.2}Y_{0.1}Zr_{3.0}Ti_{0.2}Nb_{0.9}Si_{25.0}O_{77.6}Cl_{0.3}(CO_3)_{0.6} \cdot 4.3H_2O [Si = 25]$
 $\{N_1 = Na_{2.41}\}\{N_2 = Na_{2.31}Ca_{0.45}K_{0.18}\}_{\Sigma 2.94}\{N_3 = Na_{2.37}Ca_{0.45}K_{0.18}\}_{\Sigma 2.67}\{N_4 = La_{0.36}Ce_{0.60}Pr_{0.03}Nd_{0.15}Na_{1.39}Sr_{0.45}\}_{\Sigma 3.00} \times \{N_5 = Na_{2.34}\}\{M_1 = Ca_{5.34}Mn_{0.54}Y_{0.12}\}_{\Sigma 6.00}\{M_2 = Mn_{1.98}Fe_{1.02}\}_{\Sigma 3.00}\{Z = Zr_{2.96}Ti_{0.04}\}_{\Sigma 3.00}\{M_3 = Nb_{0.88}Ti_{0.13}\}_{\Sigma 1.01} \times \{X_1 = Si_3O_9\}_2\{Si_6O_{27}\}_2\{O, OH, H_2O\}_3\{X_2 = C_{0.38}Cl_{0.27}\}\{X_3 = O\}$
 $(Na, Cl)_{12}(Ca, Ce)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_2O_7)_3(OH)_3(CO_3) \cdot H_2O$ Khomyakov et al., 2003
- 32 *Zirsilitite-Ce*
R3m
Dara-i-Pioz,
Tajikistan
 $Na_{10.1}K_{0.3}Ca_{6.2}Sr_{0.4}Fe_{0.9}Mn_{2.6}La_{0.5}Ce_{0.6}Pr_{0.1}Nd_{0.2}Y_{0.1}Zr_{3.0}Ti_{0.2}Nb_{0.9}Si_{25.0}O_{77.6}Cl_{0.3}(CO_3)_{0.4} \cdot 5.5H_2O [Si = 25]$
 $\{N_1 = Na_{2.68}\}\{N_2 = Na_{2.27}Ca_{0.42}K_{0.17}\}_{\Sigma 2.89}\{N_3 = Na_{2.12}Ca_{0.40}K_{0.15}\}_{\Sigma 2.67}\{N_4 = La_{0.47}Ce_{0.76}Pr_{0.06}Nd_{0.16}Na_{1.12}Sr_{0.43}\}_{\Sigma 3.00} \times \{N_5 = Na_{1.94}\}\{M_1 = Ca_{5.36}Mn_{0.50}Y_{0.34}\}_{\Sigma 6.00}\{M_2 = Mn_{2.13}Fe_{0.87}\}_{\Sigma 3.00}\{Z = Zr_{2.80}Ti_{0.18}\}_{\Sigma 2.98}\{M_3 = Nb_{0.93}\}\{M_4 = Si_3\} \times \{Si_3O_9\}_2\{Si_6O_{27}\}_2\{O, OH, H_2O\}_3\{X_1 = C_{0.43}Cl_{0.30}\}\{X_2 = O\}$ Khomyakov et al., 2003
- 33 *Taseqite*
Ilmaussaq
S. Greenland
 $\{Na_{8.8}Sr_{4.8}K_{0.2}Ce_{0.0}\}_{\Sigma 13.78}\{Ca_{5.17}Mn_{0.59}Y_{0.09}\}_{\Sigma 5.85}\{Fe_{1.93}Mn_{0.92}\}_{\Sigma 2.85}\{Nb_{0.64}Si_{0.53}Nb_{0.11}Hf_{0.05}\}_{\Sigma 3.00} \times \{Nb_{1.06}Ta_{0.04}Sn_{0.03}\}_{\Sigma 1.13}\{Si_{2.4}O_7\}\{O_{1.65}(OH)_{0.75}(H_2O)_{0.74}\}_{\Sigma 3.14}\{Cl_{1.91}(OH)_{0.09}\}_{\Sigma 2.00} (\Sigma \text{ anions} = 78.14)$
 $Na_{12}Sr_3Ca_6Fe_3Zr_3NbSi_2O_7(O, OH, H_2O)_3Cl_2$ Petersen et al., 2004
- 34 *Feklichevite*
R3m
Kovdor massif
Kola Peninsula
 $Na_{11.1}Ca_{8.4}Sr_{1.0}Fe^{2+}_{0.9}Fe^{3+}_{1.2}Mn_{0.2}La_{0.0}Ce_{0.0}Zr_{2.9}Hf_{0.1}Ti_{0.1}Nb_{0.6}Si_{25.3}O_{74.1}(OH)_{2.4}Cl_{0.5}F_{0.2} \cdot 1.7H_2O$
 $[Si + Zr + Hf + Ti + Nb + Mn = 29]$
 $Na_{10.80}\{Ca_{2.35}Na_{0.33}Sr_{0.08}Ce_{0.03}La_{0.02}\}_{\Sigma 2.81}\{Ca_6\}\{Fe^{3+}_{1.21}Fe^{2+}_{0.87}\}_{\Sigma 2.08}\{Zr_{2.85}Hf_{0.09}Ti_{0.05}\}_{\Sigma 2.99}\{Nb_{0.55} \times \{Si_{25.25}Mn_{0.21}\}_{\Sigma 25.46}O_7\}\{OH\}_{1.12}O_{2.6}(H_2O)_{1.67}\}_{\Sigma 3.05}\{OH\}_{1.29}Cl_{0.32}F_{0.19}\}_{\Sigma 2.00}$
 $\{Na(1) = Na_{1.80}\}\{Na(2) = Na_3\}\{Na(3) = Na_3\}\{Na(4) = Ca_{2.35}Na_{0.33}Sr_{0.08}REe_{0.03}\}_{\Sigma 2.81}\{Na(5) = Na_3\} \times \{Ca_6\}\{M(2,4) = Fe_{0.92}\}\{M(2,6) = Fe_{1.16}\}\{Zr = Zr_{2.85}Hf_{0.09}Ti_{0.05}\}\{M(3) = Nb_{0.55}\}\{M(3a) = Si_{0.45}\} \times \{Si(7) = Si_{0.75}\}\{Si(7a) = Mn_{0.21}Si_{0.03}\}_{\Sigma 0.26} \dots$
 $Na_{11}Ca_9(Fe^{3+}, Fe^{2+})_2Zr_3Nb(Si_2O_7)_3(OH, H_2O, Cl, O)_5$ Rastsvetaeva et al., 1999; Pekov et al., 2001
- 35 *Golyshhevite*
R3m
Kovdor massif
Kola Peninsula
 $\{Na_{9.87}Ca_{4.05}K_{0.24}Ce_{0.06}La_{0.03}\}_{\Sigma 14.25}\{Ca_6\}\{Fe^{3+}_{1.69}Fe^{2+}_{0.50}Mn_{0.29}\}_{\Sigma 2.48}\{Zr_{2.97}\}\{Nb_{0.60}Si_{0.66}Al_{0.08}\}_{\Sigma 1.34}\{Si_{2.4}O_7\}_2 \times (OH)_{2.37}(CO_3)_{1.05}Cl_{0.21} \cdot 1.0H_2O [Si = 24.66]$
 $(Na, Ca)_{10}Ca_9(Fe^{3+}, Fe^{2+})_2Zr_3Nb(Si_2O_7)_3(OH)_3(CO_3)(H_2O)$ Chukanov et al., 2005; Rozenberg et al., 2005
- 36 *Mogovidite*
R3m
Kovdor massif
Kola Peninsula
 $\{Na_{9.02}Ca_{0.43}K_{0.30}\}_{\Sigma 9.75}\{Ca_{5.92}Ce_{0.05}La_{0.03}\}_{\Sigma 6.00}\{Fe^{3+}_{1.48}Fe^{2+}_{0.58}Mn_{0.30}\}_{\Sigma 2.36}\{Zr_{3.02}\}\{Ti_{0.09}\}\{Nb_{0.40}Si_{0.71}\}_{\Sigma 1.11}\{Si_{2.4}O_7\}_2 \times (OH)_{2.86}(CO_3)_{1.03}Cl_{0.46} \cdot 0.74H_2O [Si = 24.71]$
 $Na_9(Ca, Na)_6Ca_6(Fe^{3+}, Fe^{2+})_2Zr_3NbSi_2O_7(CO_3)(OH, H_2O)_4$ Chukanov et al., 2005
- 37 *High-tantalum eudialyte-R3m*
Poços de Caldas
Brazil
 $Na_{11.9}K_{0.7}Ca_{5.5}Sr_{0.3}Ba_{0.1}Fe_{1.3}Mn_{1.3}REe_{0.1}Zr_{3.3}Hf_{0.1}Ti_{0.2}Nb_{0.05}Ta_{0.8}W_{0.15}Si_{24.7}Al_{0.3}O_{73.4}Cl_{1.0}$
 $\{Na_{1.9}K_{0.6}Mn_{0.3}Ba_{0.1}Ce_{0.1}\}\{Na_{2.7}Sr_{0.3}\}\{Na_3\}\{Ca_{5.28}Mn_{0.72}\}\{Fe_{1.35}Ti_{1.14}\}_{\Sigma 2.49}\{Ta_{0.51}\}\{Zr_{2.83}Hf_{0.15}\} \times \{Si_{10.78}^{VI}Nb_{0.13}^{VI}W_{0.09}\}\{Si_{0.5}Al_{0.3}Ti_{0.2}\}\{Si_{26}O_{72}\}\{O, OH\}_{3.54}\{Cl_{0.8}\} \cdot 1.2H_2O$
 $\{Na(1) = Na_{1.9}\}\{Na(2a) = Na_{1.8}\}\{Na(2b) = Na_{1.2}\}\{Na(3a) = Na_{0.6}\}\{Na(3b) = Na_{1.8}\} \times \{Na(4) = Na_{1.9}K_{0.6}Mn_{0.3}Ba_{0.1}Ce_{0.1}\}_{\Sigma 3.0}\{Na(5) = Na_{2.7}Sr_{0.3}\}\{Ca_{5.28}Mn_{0.72}\}\{Fe_{1.35}Ti_{1.14}\}_{\Sigma 2.49} \times \{Zr = Zr_{2.83}Hf_{0.15}\}\{M(3) = Nb_{0.13}W_{0.09}\}^{VI}(Si_{0.5}Al_{0.3})\}\{Si(7a) = Si_{0.35}Si(7b) = Si_{0.4}\}\{Ti_{0.2}\} \times \{Si_{24}O_{72}\}\{OH, O_3\}_{3.54}Cl_{0.8} \cdot 1.2H_2O$ Rastsvetaeva et al., 2003
- 38 *Hyperzirconium eudialyte-R3m*
 $\{Na_{15.87}K_{0.30}Sr_{0.33}\}\{Ca_{2.7}Mn_{1.0}Fe_{1.0}Na_{0.85}Ce_{0.35}Sr_{0.12}\}_{\Sigma 6.6}\{Zr_{1.2}Fe_{0.3}Na_{0.87}(OH)_{1.5}\}\{Zr_3\} \times \{Si_{0.5}Al_{0.5}\}_3\{Si_{0.5}(Ti_{0.3}Nb_{0.2})\}_2\{Si_3O_9\}_2\{Si_6O_{27}\}_2\{O, OH\}_{1.5}(OH)_{2.5}Cl_{0.5} \cdot H_2O$ Rastsvetaeva, Khomyakov, 2000
- 39 *Alluaivite*
R 3m, 2c
Alluaiv Mt.
Lovozero
 $Na_{17.5}K_{0.2}Ca_{4.5}Sr_{0.3}Ba_{0.1}Mn_{1.5}La_{0.0}Ce_{0.1}Zr_{0.5}Ti_{2.2}Nb_{0.9}Si_{25.8}O_{73.7}Cl_{0.7} \cdot 5.5H_2O [\Sigma \text{ cations} = 53]$
 $\{Na_{17.47}K_{0.12}Sr_{0.28}Ba_{0.1}La_{0.03}Ce_{0.14}\}_{\Sigma 18.15}\{Ca_{4.46}Mn_{1.47}\}_{\Sigma 5.93}\{Ti_{2.18}Nb_{0.85}Zr_{0.51}\}_{\Sigma 3.08}\{Si_{25.82}O_{73.26}\}Cl_{0.66} \cdot 2H_2O$
 $\{Na_{19.1}, Sr_{0.3}, REe_{0.1}\}_{\Sigma 19.5}\{Ca_{4.5}, Mn_{1.5}\}_{\Sigma 6.0}\{Ti_{2.2}, Nb_{0.7}\}_{\Sigma 2.9}\{Si_3O_9\}_2\{Si_{10}O_{28}\}_2\{Cl_{0.8}(H_2O)_{1.6}K_{0.1}\}_{\Sigma 24.45}$
 $Na_{19}(Ca, Mn)_6(Ti, Nb)_6Si_2O_{148}Cl_2 \cdot 4H_2O$ Khomyakov et al., 1990; Khomyakov et al., 2007
- 40 *Ti-eudialyte*
R 3m, 2c
Alluaiv Mt.
Lovozero
 $Na_{34.4}Ca_{8.5}Sr_{0.8}Ce_{1.1}Mn_{2.1}Fe_{0.9}Zr_{3.6}Ti_{2.4}Si_{50.7}Al_{0.4}O_{144}Cl_{0.9}(OH)_{5.7} \cdot 1.5H_2O (Nb_{0.8} \text{ omitted})$
Modular structure (two blocks):
 $\{Na_{14.4}Sr_{0.4}\}_{\Sigma 15}\{Na_{1.3}(Ti, Fe)_{0.7}\}_{\Sigma 2}\{Ca_{4.8}Mn_{1.2}\}_{\Sigma 6}\{Zr_{2.3}Ti_{0.7}\}\{Si_{1.6}Al_{0.4}\}_{\Sigma 2}\{Si_3O_9\}_2\{Si_6O_{27}\}_2\{Cl_{0.2}(OH)_{0.7} + \{Na_{14.5}Ce_{0.5}\}_{\Sigma 15}\{Na_{2.1}Sr_{0.4}Fe_{0.5}Ce_{0.2}\}_{\Sigma 3}\{Ca_{3.7}Na_{1.9}Ce_{0.4}\}_{\Sigma 6}\{Ti_{1.7}Zr_{1.3}\}\{Si_{1.1}Mn_{0.9}\}_{\Sigma 2}\{Si_3O_9\}_2\{Si_6O_{27}\}_2\{Cl_{0.7}(OH)_{2.1} \cdot 1.5H_2O$
In General:
 $\{Na(1)Na(2)Na(3)Na(4)Na(5)Na(6)Na(7)Na(8)Na(9)Na(10)Na(11)Na(12)Na(13)Na(14)Na(15)\}\{M(5) = Na_{0.67}Ce_{0.23}\} \times \{M(6) = Na_{2.6}Sr_{0.4}\}\{M(7) = Na_{1.83}Ce_{0.27}\}\{M(8) = Na_{0.94}Ce_{0.23}\}\{M(9) = Na_{1.46}Sr_{0.37}\}\{M(3) = Ca_{4.77}Mn_{1.23}\}_{\Sigma 6} \times \{M(4) = Ca_{3.7}Na_{1.87}Ce_{0.4}\}_{\Sigma 6}\{Ti, Fe\}_{\Sigma 2}\{Na(10) = Na_{1.33}(OH)_{1.0}\}\{M(1) = Zr_{2.33}Ti_{0.67}\}\{M(2) = Ti_{1.7}Zr_{1.3}\} \times \{Ti(1a) = Si_{0.2}\}\{Ti(1b) = Si_{0.8}\}\{Ti(2a) = Si_{0.16}\}\{Ti(2b) = Si_{0.4}Al_{0.4}\}\{Ti(3a) = Mn_{0.9}\}\{Ti(3b) = Si_{0.1}\}\{Ti(4a) = Si_{0.8}\}\{Ti(4b) = Si_{0.2}\} \times \{Si(1)_3O_9\}\{Si(2)_3O_9\}\{Si(3)_6Si(7)_3O_{27}\}\{Si(4)_6Si(8)_3O_{27}\}\{Si(5)_3O_9\}\{Si(6)_3O_9\} \times \{Si(9)_6Si(1)_3O_{27}\}\{Si(12)_6Si(10)_3O_{27}\}Cl(1-2)OH(1-9)H_2O(1-4)$
 $(Na_{34.2}K_{0.1}Ca_{8.6}Sr_{0.8}Ba_{0.1}REe_{1.4}Mn_{2.2}Fe^{2+}_{0.9}Zr_{2.6}Ti_{3.3}Nb_{0.8}Si_{51.0}Al_{0.23}O_{144}(OH)_{6.5}Cl_{1.0} \cdot 1.3H_2O [\Sigma \text{ cations} = 106]$
 $\{N(1) = Na_{3.0}\}\{N(1)^* = Na_{2.7}Ce_{0.27}\}\{N(2) = Na_{3.0}\}\{N(2)^* = Na_{2.6}Ce_{0.23}\}\{N(3) = Na_{1.46}Sr_{0.37}\}\{N(3)^* = Na_{2.6}Sr_{0.4}\} \times \{N(4) = Na_{3.0}\}\{N(4)^* = Na_{3.0}\}\{N(5) = Na_{2.97}\}\{N(5)^* = Na_{3.0}\}\{M(1) = Ca_{3.7}Na_{1.87}Ce_{0.4}\}_{\Sigma 6}\{M(1)^* = Ca_{4.77}Mn_{1.23}\}_{\Sigma 6} \times \{M(2) = Fe_{0.23}\}\{M(6) = Na_{1.46}Sr_{0.37}\}_{\Sigma 1.83}\{N(7) = Na_{0.67}Ce_{0.23}\}_{\Sigma 0.90}\{M(2)^* + N(7)^* = Na_{1.33}Ti_{0.67}\}_{\Sigma 2.3} \times \{M(3) = Si_{0.67}Al_{0.33}\}_{\Sigma 1}\{M(3)^* = Mn_{0.9}Si_{0.1}\}_{\Sigma 1}\{M(4) = Si_{1.0}\}\{M(4)^* = Si_{1.0}\} \times \{Z = Zr_{2.0}Ti_{0.7}Nb_{0.3}\}_{\Sigma 3}\{Z^* = Ti_{1.7}Zr_{1.0}Nb_{0.3}\}_{\Sigma 3} \dots$
 $\{[VI-X]Na_{15.0}\}\{[VI-X]Na_{14.1}Ce_{0.5}Sr_{0.4}\}\{[VI]Ca_{3.73}Na_{1.87}Ce_{0.4}\}\{[VI]Ca_{4.77}Mn_{1.23}\}\{[VI-X]Na_{21.3}Sr_{0.37}Fe_{0.27}Ce_{0.23}\} \times \{[VI-X]Na_{13.3}Ti_{1.0}Fe_{0.67}\}\{[VI]Zr_{2.0}Ti_{0.7}Nb_{0.3}\}\{[VI](Ti_{1.7}Zr_{1.0}Nb_{0.3})\}\{[VI](Si_{0.67}Al_{0.33})\} \times \{[VI]Mn_{0.9}^{IV}Si_{0.1}\}\{[VI]Si^{IV}Si\}\{Si_{48}O_{144}\}(OH)_{6.2}(H_2O)_{1.3}Cl_{0.9}$
 $Na_{30}(Ca, Na, Ce, Sr)_{12}(Na, Mn, Fe, Ti)_6Zr_3Ti_3MnSi_{51}O_{144}(OH, H_2O, Cl)$ Khomyakov et al., 2007

It was approved by the CNMNC as new mineral: Dualite

- 41 *Эвдиалит-R3 с упорядочением Са и Fe*
Кедькверлахк
Ловозеро
Утвержден КНМНК как новый минеральный вид:
Раскалит
$$Na_{15.4}K_{0.2}Ca_{3.4}Sr_{0.2}Fe_{2.9}Mn_{0.9}Mg_{0.2}Al_{0.3}REe_{0.3}Zr_{1.3}Hf_{0.1}Ti_{0.1}Nb_{0.2}Si_{25}O_{73}(OH)_0.8Cl_{1.1} [Si = 25]$$
$$\{Na(1a) = {}^VNa_{1.35}\}\{Na(1b) = {}^{VIII}Na_{1.05}\}\{Na(2a) = {}^{VIII}(Na_{1.15}Ca_{0.20})\}_{21.35}\{Na(2b) = {}^{VIII}(Na_{1.65}Ca_{0.10})\}_{21.75} \times \{Na(3) = {}^{IX}(Na_{2.80}Ca_{0.20})\}_{23}\{Na(4a) = {}^{IX}(Na_{1.20}Sr_{0.15}K_{0.15})\}_{21.50}\{Na(4b) = {}^{IX}(Na_{1.40}Sr_{0.05}K_{0.05})\}_{21.50} \times \{Na(5) = {}^{VIII}Na_3\}\{M(1a) = {}^{VI}(Fe_{2.2}Ca_{0.5}Mn_{0.3})\}_{23}\{M(1b) = {}^{VI}(Ca_{2.7}REe_{0.3})\}_{23}\{M(2,4) = {}^{VI}(Zr_{0.8}Hf_{0.1})\} \times \{M(2,5a) = {}^{VI}Mn_{0.6}\}\{M(2,5b) = {}^{VI}Na_{1.5}\}\{M(3) = {}^{IV}(Nb_{0.20}Ti_{0.15}Mg_{0.15})\}_{20.50} \times \{M(3a) = {}^{IV}(Si_{10.4}Al_{0.1})\}_{20.5}\{Si(7) = {}^{IV}Si_{0.3}\}\{Si(7a) = {}^{IV}(Si_{0.4}Al_{0.1})\}_{20.5}\{Si_{25}O_{73}(OH)_0.2\}Cl_2(H_2O)_2$$
$$\{Na_{14.2}Ca_{0.6}Sr_{0.2}K_{0.2}\}_{21.5}\{Ca_{2.7}REe_{0.3}\}_{23}\{Fe_{2.2}Ca_{0.5}Mn_{0.3}\}_{23}\{Na_{1.3}Zr_{0.8}Hf_{0.1}Mn_{0.6}\}_{23}\{Zr_3\} \times \{Si_{0.4}Al_{0.1}Nb_{0.2}Ti_{0.15}Mg_{0.15}\}\{Si_{25}O_{73}(OH)_0.2\}Cl_2(H_2O)_2$$
$$Na_{15}(Ca_3Fe_3)(Na,Zr)_3(Si,Nb)(Si_{25}O_{73})(OH,H_2O)_3(Cl,OH)_2$$

Екименкова и др., 2000;
- 42 *Мп, Се-эвдиалит-R3*
г. Аллуайв
Ловозеро
Расцветсаева и др., 1999;
$$Na_{17.0}K_{0.1}Ca_{2.0}Sr_{0.5}Fe_{0.15}Mn_{3.2}L_{0.3}Ce_{0.3}Nd_{0.2}Y_{0.1}Zr_{3.2}Hf_{0.05}Ti_{0.1}Nb_{0.4}Si_{25.6}O_{74.15}(OH)_3.35F_{0.5}Cl_{0.3}nH_2O$$
$$[Na_{14.2}Sr_{0.4}REe_{0.2}K_{0.1}] [Mn_3(Ca_2,1REe_{0.9})] [Na_{1.8}(Mn_{0.6}Fe_{0.15})(Zr_{0.4}Hf_{0.05})] [Zr_{2.9}Ti_{0.1}] \times \{Si_{11.6}Nb_{0.4}\}\{Si_3O_9\}_2\{Si_9O_{27}\}_2(O,OH)_{3.3}F_{0.5}Cl_{0.3} \cdot 0.65H_2O$$
$$\{Na(1a) = {}^VNa_{1.50}\}\{Na(1b) = {}^VNa_{1.50}\}\{Na(2a) = {}^{VIII}(Na_{1.19}REe_{0.25})\}_{21.44}\{Na(2b) = {}^{VIII}(Na_{1.56})\}_{21.30} \times \{Na(3) = {}^{IX}Na_{2.70}\}\{Na(4) = {}^VNa_{1.80}\}\{Na(5a) = {}^{VIII}Na_{1.50}\}\{Na(5b) = {}^{IX}(Na_{1.35}Sr_{0.15})\}_{21.50}\{Na(6) = {}^{IX}(Na_{2.90}K_{0.10})\} \times \{M(1) = {}^{VI}Mn_3\}\{M(1a) = {}^{VI}(Ca_{2.10}REe_{0.90})\}_{23}\{M(2) = {}^{VI}(Mn_{0.60}Fe_{0.15})\}\{Zr(2) = {}^V(Ca_{2.40}Hf_{0.05})\}\{Zr = {}^{VI}(Zr_{2.90}Ti_{0.10})\} \times \{T(1a) = {}^{IV}Si_{0.51}\}\{T(1b) = {}^{IV}Si_{0.49}\}\{T(2) = {}^{IV}Si_{0.60}\}\{Nb_{0.40}\}\{Si_3O_9\}_2\{Si_9O_{27}\}_2(O,OH)_{3.35}F_{0.5}Cl_{0.3} \cdot 0.65H_2O$$
$$Na_{16.3}K_{0.3}Ca_{1.8}Mn_{1.9}Fe_{1.6}Ce_{0.3}Zr_{3.4}Hf_{0.6}Ti_{0.1}Nb_{0.3}Si_{25.9}Al_{0.1}O_{75.3}[Si + Al] = 26]$$
$$\{Na_{14}Sr_{0.4}K_{0.2}\}\{Na_{0.58}Ca_{1.05}Ce_{0.45}Sr_{0.13}\}\{Mn_{2.1}Ca_{0.72}Ce_{0.18}\}\{Zr_3\}\{Fe_{1.55}Zr_{0.6}Nb_{0.58}Ti_{0.15}Nb_{0.12}\}\{Si_{1.9}Al_{0.1}\} \times \{Si_3O_9\}_2\{Si_9O_{27}\}_2(O,OH)_4(F,Cl)_{0.7} \cdot 1.1H_2O$$
$$\{Na_{2a} = Na_{1.2}K_{0.18}\}\{Na_{5b} = Na_{1.29}Sr_{0.13}\}\{M1 = Mn_{2.1}Ca_{0.72}Ce_{0.18}\}\{E_{3.00}\}\{M1b = Na_{1.35}Ca_{0.5}Ce_{0.45}Sr_{0.15}\}_{23.00} \times \{M2a = Zr_{0.63}Nb_{0.47}Zr_{1.20}\}\{M2b = Ti_{0.17}Nb_{0.13}\}_{20.30}\{Fe_{1.55}\}\{Si_{18}b = Si_{0.65}Al_{0.1}\}\{Cl1 = Cl_{0.6}(H_2O)_{0.3}\}_{20.90} \dots$$
$$Na_{16.8}K_{0.3}Sr_{0.6}Ba_{0.0}Ca_{4.3}Mn_{1.6}Fe_{0.2}REe_{0.4}Zr_{2.9}Ti_{0.2}Nb_{0.4}Si_{25.3}O_{73.3}Cl_{0.6}nH_2O$$
$$Na_{36}\{Na_{6.3}Sr_{1.8}K_{0.9}\}\{Ca_{12.8}Mn_{3.3}Ce_{1.5}Na_{0.4}\}\{Na_{19}\}\{Nb_{0.9}Ti_{0.6}Fe_{0.5}\}\{Zr_9\}\{Si_3\}\{Mn_{1.5}Al_{2.0}\}_3 \times \{Si_3O_9\}_6\{Si_9O_{27}\}_6(OH)_{10}Cl_{2-4} \cdot 9H_2O$$
$$\{Na1a\}_4,5\{Na1b\}_4,5\{Na2a\}_6,75\{Na2b\}_2,25\{Na3a\}_1,9\{Na3b\}_1,6\{Na5a\}_6,75\{Na5b\}_2,25\{Na6\}_9,0 \times \{M_3 = Na_{2.8}Sr_{1.8}K_{0.9}\}\{M = Ca_{12.8}Mn_{3.3}Ce_{1.5}Na_{0.4}\}\{Na_{19}\}\{Na_{4a} = Na_{5.2}(OH)_{1.5}\}\{Na_{4b}\}_3,1\{M_2 = Nb_{0.9}Ti_{0.6}Fe_{0.5}\}_3\{Zr_9\} \times \{T1 = Si_{3.0}\}\{T2a = Al_{0.3}\}\{T2b = Si_{1.2}\}\{T2c = Mn_{1.5}\}\{Si_3O_9\}_6\{Si_9O_{27}\}_6(OH)_{10}Cl_{2-4} \cdot 9H_2O$$
$$Na_{33.3}K_{1.45}Ca_{1.17}Sr_{0.74}Ce_{0.10}Fe^{2+}_{2.19}Mn_{0.27}Zr_{3.94}Ti_{0.52}Si_{51.26}O_{144.48}(OH)_{28.80}Cl_{2.95}F_{0.36} \cdot 3H_2O$$

Молекулярная структура (три блока, из которых рассматриваются только два):

$$Na_{36}\{Na_{7.1}K_{1.9}\}\{Ca_{18}\}\{^{IV}Fe_{6.66}\}^{VI}Mn_{2.34}\{Zr_9\}\{Si_{18}Al_{1.56}\}\{^{VI}Ti_{1.56}\}\{Si_{12}O_{216}\}\{(OH)_{5.06}(H_2O)_{3.96}O_{3.22}ClF\} + \{Na_{5.94}K_{2.46}Sr_{0.6}\}\{Na_{5.52}Sr_{0.08}\}\{^{IV}Na_{3.69}\}\{^{VI}Na_{4.83}Sr_{0.15}Ce_{0.15}\}\{^{VI}(Na_{4.82}Sr_{0.2}Ce_{0.15})\}\{Ca_9\}\{Ca_{8.55}Sr_{0.45}\} \times \{Zr_9\}\{Si_6\}\{Si_{12}O_{216}\}(OH)_6(H_2O)_4 \cdot 5Cl_6$$
$$\{N(4) = {}^{VI}Na_3\}\{N(4)* = {}^{VIII}(Na,K,Sr)\}_3\{M(Ia) = {}^{VI}Ca_3\}\{M(Ib) = {}^{VI}(Ca,Sr)\}_3\{M(Ia) = {}^{VI}Ca_3\}\{M(Ib) = {}^{VI}Ca_3\} \times \{N(6) = {}^{VI}(Na,Sr,Ce)_{1.6}\}\{N(7) = {}^{VIII}(Na,Sr,Ce)_{1.7}\}\{M(2) = {}^{IV}Na_{1.3}\}\{M(2)* = {}^{IV}(Fe,V,Mn)_3\} \times \{M(3) = ({}^{VI}Ti, {}^{IV}Si_{12})\}\{M(4) = {}^{IV}Si\}\{M(3)* = {}^{IV}Si\}\{M(4)* = {}^{IV}Si\} \dots$$
$$(Na,K,Sr)_{35}Ca_{12}Fe_5Zr_6Ti_6Si_5(O,OH,H_2O)_3Cl_3$$

Хомяков и др., 2006;
- 46 *Высококальциевый эвдиалит-R3т, 2с*
Расумчорр
Хибиньы
Расцветсаева, Хомяков, 2001;
$$Na_{27.1}K_7.9Ca_{11.3}Sr_{0.7}Ce_{0.9}Fe_{2.3}Mn_{4.0}Zr_{7.5}Hf_{0.6}Ti_{0.3}Nb_{0.2}Si_{51.5}Al_{0.2}O_{146.1}(OH)_{1.9}Cl_{2.3} \cdot 1.71H_2O$$

Молекулярная структура (три блока, из которых рассматриваются только два):

$$K_9Na_{36}\{Ca_{18}\}\{^{IV}Fe_{5.7}^{VI}Fe_{9.9}Mn_{1.1}Na_{1.3}(OH)_{0.6}\}\{Zr_9.82(Hf,Ta)_{0.18}\}\{Si_{4.5}(OH)_{4.5}^{VI}Al_{0.6}Nb_{0.3}O_{6.02}(OH)_0.7\} \times \{Si_{12}O_{216}\}(H_2O)_{5.4}Cl_{1.65} + \{Na_{41.6}K_{2.8}Sr_{1.4}\}\{Ca_{17.9}Sr_{0.9}Ce_{0.1}\}\{^{IV}Na_3\}^{VI}K_6\{Zr_7.7Ti_{1.3}\}\{Si_{5.5}Cl_{0.5}(OH)_{5.3}\}\{Si_{12}O_{216}\}(H_2O)_{1.6}Cl_{1.6} \cdot \{N(1) = Na_{2.34}K_{0.66}\}_{23}\{N(1)* = Na_3\}\{N(2) = Na_3\}\{N(2)* = Na_3\}\{N(3) = Na_3\}\{N(3)* = Na_3\}\{N(4) = Na_{2.53}Sr_{0.47}\}_{23} \times \{N(4)* = K_3\}\{N(5) = Na_3\}\{N(5)* = Na_3\}\{N(6) = K_{2.01}\}\{N(7) = K_{2.01}\}\{M(1) = Ca_{5.67}Sr_{0.30}Ce_{0.03}\}_{26}\{M(1)* = Ca_6\} \times \{M(2) = Na_{0.99}\}\{M(2)* = Fe_{2.19}Mn_{0.26}Nb_{0.45}\}_{23}\{Zr = Zr_{2.4}Ti_{0.6}\}_{23}\{Zr* = Zr_{2.94}(Hf,Ta)_{0.06}\}_{23}\{M(3) = Si_{0.87}Nb_{0.10}\}_{20.97} \times \{M(3)* = Si_{0.81}Al_{0.19}\}_{21}\{M(4) = Si_{0.83}\}_{17}\{M(4)* = Si_{1.00}\} \dots$$
$$\{^{VI-VIII}(Na_{7.0}K_{2.0})\}\{^{VI}(Na_{7.6}Sr_{1.4})\}\{^{VIII}K_9\}\{^{VI}(Ca_{17.9}Sr_{0.9}Ce_{0.1})\}\{^{VI}Ca_{18}\}\{^{VI}K_6\}^{VI}Na_3 \times \{^{IV}Fe_{5.7}^{VI}Na_{1.3}^{VI}Mn_{1.1}^{VI}Fe_{0.9}\}\{^{VI}(Zr_{7.7}Ti_{1.3})\}\{^{VI}(Zr_{9.82}Hf,Ta_{0.18})\}\{^{IV}Si_{4.5}^{VI}Nb_{0.3}O_{6.02}\}\{^{IV}Si_{2.4}^{VI}Al_{0.6}\}\{^{IV}Si_{2.5}^{VI}O_{3.0}\}\{Si_3O_9\}_{12}\{Si_9O_{27}\}_{12}(O,OH)_{11.35}(H_2O)_7Cl_{7.2}$$
$$Na_{27}K_9Ca_{12}Fe_5Zr_6Si_5(Si_3O_9)_4(Si_9O_{27})_4(O,OH,H_2O)_6Cl_2$$
$$Na_{3.3}K_{2.2}Sr_{0.3}Ca_{5.8}REe_{0.1}Mn_{1.0}Fe_{1.1}Zr_{3.4}Ti_{0.3}Nb_{0.1}Si_{25.2}Al_{0.1}O_{88.5}(H_3O)_{7.4}Cl_{1.6} [V 1755 A^3; d 2.69]$$
$$Na_{28}K_{2.2}(H_3O)_7\{Ca,Sr,Mn\}_6\{Fe^{3+}_1\} \cdot \{Zr,Ti,Al,Nb\}_8\{O\}_3\{Zr_3\}\{Si_{10}Na_{1.0}\} \times \{Si_3O_7(O,OH)_2\}\{Si_9O_{24}(O,OH)_3\}Cl_5 \cdot (O,OH)_6$$

Соколова и др., 1991;
Расцветсаева и др., 1990;
Екименкова и др., 2004
- 47 *K,H3O+-эвдиалит R3т*
Расумчорра
Хибиньы
Расцветсаева, Хомяков, 2003;
$$Na_{8.1}K_{0.3}Sr_{0.5}Ca_{3.3}REe_{0.5}Mn_{1.4}Fe^{3+}_{2.1}Zr_{3.4}Ti_{1.0}Nb_{0.1}Si_{24}O_{68.3}Cl_{0.3} \cdot 10H_2O$$
$$[Si = 24]$$
$$\{^{VIII-IX}(Na_{8.28}K_{0.30}Sr_{0.15})\}_{28.73}\{^{VIII-IX}(H_3O)_{3.27}\}\{Ca_{3.3}Mn_{1.4}REe_{0.5}Na_{0.45}Sr_{0.35}\}_{26}\{^{VI}Fe^{3+}_{2.10}Na_{0.90}\}_{23}\{Zr_3\} \times \{^{VI}(Zr_{3.22}Nb_{0.07}Ti_{0.07})\}_{20.46}\{^{IV}Si_{0.30}\}\{^{VI}(Zr_{0.08}Nb_{0.03}Ti_{0.03})\}_{20.44}\{Si_3O_9\}_2\{Si_9O_{24}(OH,O)_3\}\{OH\}_{5.16}Cl_{0.26} \cdot 2H_2O$$
$$(Na,H_3O)_{13}(Ca,Mn,REE)_6Fe^{3+}_2Zr_3(Cl,Zr)(Cl,Si)Si_{26}O_{66}(O,OH)_6Cl \cdot nH_2O$$

Чуканов и др., 2003;
Расцветсаева, Чуканов, 2003
- 49 *Na,Fe-декасимированный эвдиалит-R3*
Инагли
Южн. Якутия
Утвержден КНМНК как новый минеральный вид:
= *Аквалит*
Расцветсаева, Хомяков, 2002
$$Na_{2.7}K_{1.2}Sr_{0.5}Ba_{0.5}Ca_{5.8}REe_{0.2}Mn_{1.0}Fe_{0.2}Zr_{2.9}Ti_{0.3}Nb_{0.0}Si_{25.6}Al_{0.2}O_{66.6}Cl_{1.2} \cdot 16H_2O$$
$$(H_3O)_{20.9}\{Na_{6.5}K_{3.6}Ba_{1.6}Sr_{1.3}Ce_{0.2}\}_{22}\{Ca_{1.7}Ca_{0.3}\}_{218}\{H_3O\}_{4.4}\{^{IV}Na_{2.2}\}\{^{VI}(Fe,Mn)_{1.0}\}\{Zr_3\} \times \{^{IV}Si_3\}\{^{VI}Si_{1.5}\}\{^{VI}Ti_{0.75}\}\{^{VI}Al_{0.65}\}\{^{VI}Nb_{0.1}\}_{23}\{Si_{17.2}O_{198.7}(OH)_{17.3}(OH)_{0.6}Cl_{0.9}(H_2O)_{2.16}(SO_4)_{0.6} \cdot \{A(1) = {}^{IX}(H_3O)_3\}\{A(2a) = {}^{IX}(Na_{4.7}Ba_{1.6})\}\{A(2b) = {}^{VIII}(H_3O)_{2.5}Ce_{0.2}\}\{A(3a) = {}^{IX}(H_3O)_{4.5}Sr_{0.3}\}\{A(3b) = {}^{IX}K_{3.6}\} \times \{A(4a) = {}^{VIII}(Na_{1.8}Sr_{0.3})\}\{A(4b) = {}^{IX}(H_3O)_{4.5}\}\{A(5a) = {}^{IX}(H_3O)_{1.0}\}\{A(5b) = {}^{VIII}(H_3O)_{2.5}(OH)_{1.0}\} \times \{^{VI}Ca_9\}\{^{VI}(Ca_{8.6}Ce_{0.3})\}\{M = {}^{IV}(Na_{2.2}Fe,Mn)_{0.1}\}\{Si(7a) = {}^{IV}Si_{1.63}\}\{Si(7b) = {}^{IV}Si_{1.35}\}\{Si(8) = {}^{IV}Si_{1.5}\} \times \{^{VI}Ti_{0.75}\}\{^{VI}Al_{0.65}Nb_{0.1}\} \dots$$
$$(H_3O)_9Na_2(K,Ba,Sr)_2Ca_9Zr_3(Si_{26}O_{66}(OH)_6)(OH)_3Cl \cdot H_2O$$
$$(H_3O)_8(Na,K,Sr)_5Ca_6Zr_3Si_{26}O_{66}(OH)_9Cl$$

Примечания: * В каждой ячейке сначала приведена химическая формула, отражающая фактические данные химического (обычно микрозондового) анализа при указанных условиях нормирования (к.ф. — округлены) (выделена синим цветом), затем структурная формула — со степенью детализации, указанной в оригиналах (в квадратных скобках выделены элементы каркаса, в фигурных — «внекаркасные атомы») и в конце упрощенная формула, характеризующая минерал как самостоятельный минеральный вид в предложенной номенклатуре и систематизации минералов эвдиалитовой группы (Johnsen et al, 20031; Хомяков и др., 20061) (выделено красным цветом).
** по М.Д. Дорффману с соавторами, 1967; 1968.

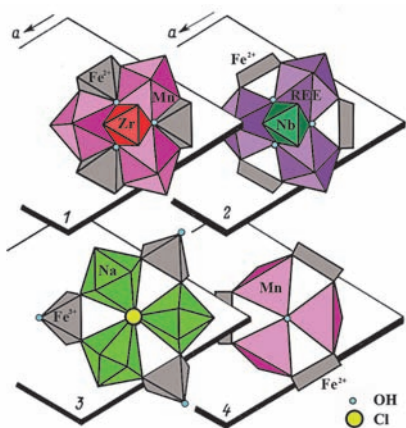


Рис. 3. Статистически возможное упорядоченное распределение «внекарасных» катионов в максимальном по структурной упорядоченности эвколите (на примере барсановита). 1 — жесткий кластер из Zr^{4+} «дополнительного» октаэдра, Fe^{3+} -пятивершинника ($M(2)$ -полуоктаэдра) и «натриевого» 8-вершинника, занятого Mn^{2+} , в нижней «цеолитовой» камере; 2 — тот же кластер в случае занятия «дополнительного» октаэдра Nb^{5+} , «железной» позиции — «квадратом» $[4]Fe^{2+}$, а восьмивершинника — REE^{3+} ; 3, 4 — строение аналогичной, связанной псевдоцентросимметрией, области в верхней «цеолитовой» камере. По Р.К. Расцветаевой и др. (1990.). Упорядочение приводит к ацентричности структур эвколитов.

нижнего кольца. Натрий распределен по четырем позициям: Na_4 (7-вершинник, к.з. 0.13), Na_9 (к.з. 0.19), Na_6 (5-вершинник, к.з. 0.23) и Na_7 (к.з. 0.09). Близкое распределение «дополнительных» катионов установлено в остальных эвколитах (см. табл. 1, п/п 5–7), а в «желто-зеленом барсановите» (табл. 1, п/п 8) кремний найден упорядоченным в верхнем кольце (Si_7 , к.з. 0.95), а ниобий и цирконий (M_1 , к.з. 1.00) — в нижнем. «Железная» позиция в эвколитах обычно расщеплена на «квадратную» $[4]Fe^{2+}$ и M_2 «полуоктаэдр», куда кроме Fe^{2+} входит Fe^{3+} и Mn, но в некоторых случаях, например в TR,Fe-эвколите № 325, в неё входит цирконий ($Fe^{2+}_{1.28}Fe^{3+}_{1.28}Zr_{0.28}$) $\Sigma=2.85$, а Mn был обнаружен вместе с REE в «натриевом» M_3 -восьмивершиннике нижней цеолитовой камеры ($Mn_{1.45}REE_{1.07}Na_{0.42}$) $\Sigma=2.94$. В TR,Mn-эвколите № 1008-6 Mn входит в три позиции: в «железную»

($Fe^{2+}_{0.96}Fe^{3+}_{0.79}Mn^{2+}_{0.86}Al^{3+}_{0.23}Ti^{4+}_{0.10}$) $\Sigma=2.94$ в M_3 -восьмивершинник нижней цеолитовой камеры ($Mn_{0.37}REE_{1.01}Na_{1.59}$) $\Sigma=2.97$ и в Ca-октаэдры 6-членных колец ($Ca_{4.6}Mn_{1.4}$) $\Sigma=6$. Максимальная асимметризация структуры, наблюдаемая в «желто-зеленом барсановите», показана на рисунке 3. В нижней цеолитовой камере образуются жесткие кластеры $[M_1M_2M_3]$ из атомов $Zr^{[5]}Fe^{2+}Mn$ или $Nb^{[4]}Fe^{2+}REE$, а в верхней — структурно идентичные им группировки $Cl^{[5]}Fe^{3+}Na$ или $(OH)^{[4]}Fe^{2+}Mn$.

Серия структурных уточнений, проведенная Р.К. Расцветаевой на нашем материале, продемонстрировала структурные изменения, происходящие при эвколитизации эвдиалита, и подтвердила правомочность отнесения его к МПСРС. Как показали исследования, частичные замещения при этом может подвергаться даже каркас структуры, например Ca-октаэдров на Mn-вые, а такие высокозарядные элементы, как Ti или Zr в случае их избытка могут входить в несвойственные им позиции, например, в «железную».

Примерно десять лет спустя структурные исследования эвдиалит-эвколитов были повторены зарубежными исследователями (Johnsen, Gault, 1997; Johnsen, Grice, 1999). Заслугой этих ученых стала «унификация» структурных позиций, а также анализ изменения их числа из-за различий в симметрии (рис. 4 а, б). На основании структурного изучения 17 эвдиалитов (см. табл. 1, п/п 11–27) О. Йёнсен и Дж.Д. Грайс (Johnsen, Grice, 1999) рассмотрели три структурные их модификации ($R\bar{3}m$, $R3m$ и $R3$) и выделили для них, кроме позиций каркаса: $\{Si(1), Si(3), Si(3s), Si(5)\} - \{Si(1-6)\}$ и $\{Si(1), Si(2), Si(3), Si(4), Si(5a), Si(5b), Si(6a) \text{ и } Si(6b)\}$ ⁵; Zr и $\{O(1-3, 7-9, 13-15, 19-20)\} - \{O(1-18)\}$ и $\{O(1-6, 7a, 7b, 8-9, 10a, 10b, 11-12, 13a, 13b, 14a, 14b, 15, 16a, 16b, 17a, 17b, 18-20)\}$ соответственно следующие «дополнительные» позиции, в новых их обозначениях:

1) Для $R\bar{3}m$ $M(1)$ октаэдры 6-членных Ca-колец с точечной симметрией 2; $M(2,4)$ и $M(2,5)$ катионы в «железной» позиции в 4- и 5-координации⁶; $Si(7)$ и $Si(7a)$ — для позиций «дополнительного» тетраэдра, превращающего верхнее кольцо $[Si_6O_{27}]$ в «платформу» $[Si_{10}O_{28}]$; $M(3)$ для «дополнительного» октаэдра, центрирующего нижнее 9-членное кольцо $[Si_9O_{27}]$ ⁷; три позиции натрия: $Na(1)$, $Na(4)$ и $Na(5)$, с расщеплением первой на $Na(1a)$, $Na(1b)$, между которыми статистически распределяются 6 атомов Na; позиция $Na(4)$, связанная с $M(2,4)$, $M(3)$ и $[Si_9O_{27}]$, — наиболее просторная, куда могут изо-

⁴ — на микрозонде было проанализировано 60 образцов, 17 из которых заслужили структурного уточнения.
⁵ — в ацентричной структуре кольца $[Si(1)_3O_6]$ и $[Si(3)_3Si(5)_6O_{27}]$ распадаются на $[Si(1)_3O_6]$ и $[Si(2)_3O_6]$ и $[Si(3)_3Si(5)_6O_{27}]$ и $[Si(4)_3Si(6)_6O_{27}]$ и образуют слои, содержащие либо только четные, либо только нечетные позиции кремния. Смещение и разворот тетраэдров позволяют входить в центр 9-членного кольца либо тетраэдр Si, либо октаэдр с размерами Nb. Смещенная позиция $Si(3s)$ в $R\bar{3}m$ указывает на отклонение от центросимметричности, не достигающее, однако, положения атомов $Si(3)$ и $Si(4)$ в $R3m$. В $R3$ происходит расщепление позиций $Si(5)$ и $Si(6)$.
⁶ — согласно (Johnsen, Grice, 1999), «квадрат» $[4]M(2,4)$ опирается на атомы кислорода O(14) и O(17) из Ca-октаэдров двух соседних 6-членных колец, а «5-угольник» $[5]M(2,5)$ достраивается до полуоктаэдра атомом O(19) (ОН-группой, по Р.К. Расцветаевой) — единственным «дополнительным» атомом кислорода, не связанным с Si. Fe^{2+} преимущественно входит в $M(2,4)$, хотя туда же может входить и Mn^{2+} , но он предпочитает 5-координацию $M(2,5)$. Данные авторы подтверждают вхождение в $M(2)$ Ti и Zr, но в позицию $[5]M(2,5)$, а не в октаэдр, что было найдено Р.К. Расцветаевой, и утверждают, что не наблюдали атомов в $M(2)$ -позиции в 6-координации.
⁷ — в центросимметричной группе наблюдается замещение: $2^{[4]}Si_7 \leftrightarrow [6]M(3) + [4]Si_7$ с неупорядоченным распределением «дополнительных» атомов по позициям $Si(7)$, $Si(7a)$, $M(3)$, $M(3a)$ и $M(3b)$. По мере ослабления центросимметричности структуры наблюдается вытеснение «дополнительного» кремния октаэдрическими катионами: $Si_{1.89}Nb_{0.11}$ в обр. №9, $Si_{1.88}Nb_{0.12}$ в обр. №14, $Si_{1.85}Nb_{0.15}$ в обр. №15, $Si_{1.84}Nb_{0.16}$ в обр. №10, $Si_{1.73}Nb_{0.27}$ в обр. №12, $Si_{1.71}Nb_{0.29}$ в обр. №7, $Si_{1.67}Nb_{0.33}$ в обр. №1, $Si_{1.63}Ti_{0.21}Nb_{0.16}$ в обр. №8, (см. табл. 1).

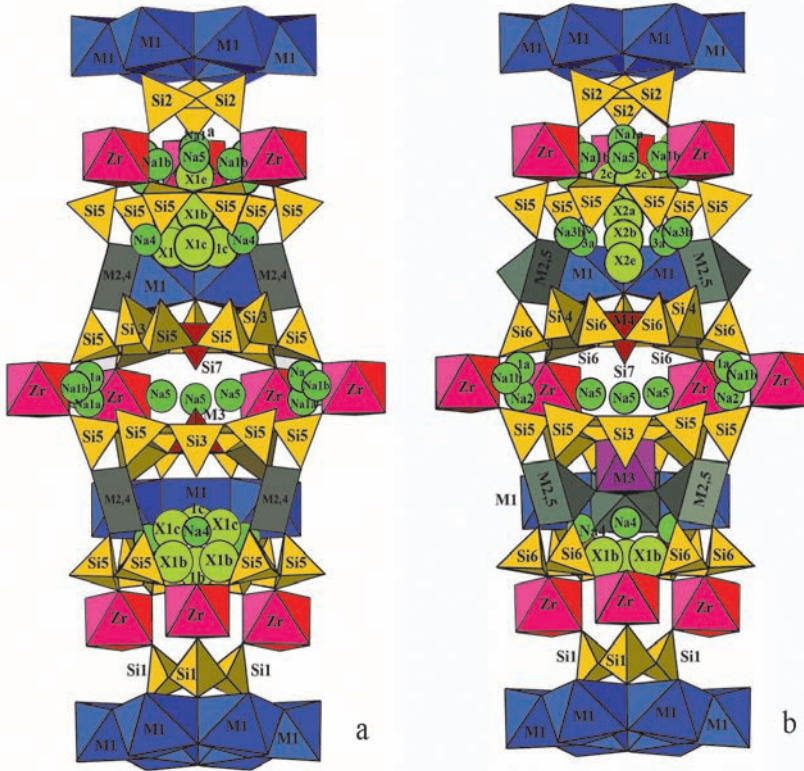


Рис. 4. Различия позиций в кристаллических структурах центросимметричного $R\bar{3}m$ (a) и ацентричного $R3m$ (b) эвдиалитов. По О. Johnsen & J.D. Grice (1999). Унификация и новое обозначение позиций. Впоследствии позиция Si(7) обозначена данными авторами как M_4 , а позиции натрия как N_1 , N_2 , N_3 , N_4 и N_5 . Эволюты характеризуются сменной симметрией $R\bar{3}m$ на $R3m$, точнее возрастанием ацентричности структуры, обусловленной отклонением ряда входящих в неё статистически распределенных атомов от центросимметричного мотива.

морфно входят K, Ca, Sr, REE; а также шесть позиций анионов: X(1a), X(1b), X(1c), X(1d), X(1e), X(1f), занятых Cl, F и OH-группами, связанных только с Na (всего 31 позиция).

2) Для $R\bar{3}m$. M(1) атомы $[M(1)O_6]$ -октаэдров, находящиеся в общем положении, искаженные из-за частичного замещения Ca на Mn, REE и Y; вышеупомянутые M(2,5) и M(2,4); Si(7) и Si(7a); M(3)^β; пять позиций натрия: Na(1a), Na(1b), Na(2), выделяемые из-за уничтожения центра симметрии из Na(1), а также Na(3a), Na(3b), Na(4), выделяемые из Na(4) и Na(5) соответственно. Позиции Na(1), Na(2) и Na(5) занимают только натрием (кроме обр. №11, в котором в Na(1) найден Ca и обр. №13, где в этой позиции обнаружены REE), позиции Na(3) и Na(4) содержат изоморфные примеси (Р.К. Расцветаева выделяла их как связанные псевдоцентром симметрии полиэдры M(4) и M(3) соответственно), причем примесей может быть даже больше, чем натрия, в Na(3) — K, REE, Sr и Ba в Na(4) — K, REE, Y, Ca, Sr, Ba, (отметим, что в позициях натрия не найдено марган-

ца). Выделено также восемь позиций анионов: X(1a), X(1b), X(1c), X(1d), X(2a), X(2b), X(2c), X(2d). (Всего 48 позиций).

3) Для $R3$. M(1a) и M(1b) «расщепленные» позиции в случае отсутствия плоскостной симметрии; отмеченные выше M(2,5) и M(2,4), Si(7) и Si(7a); M(3); шесть позиций натрия: Na(1a), Na(1b), Na(2), Na(3), Na(4) и Na(5), причем в Na(3) изоморфно входят REE, а в Na(4) — REE и K, и семь позиций анионов: X(1a), X(1b), X(1c), X(2a), X(2b), X(2c), X(2d) (56 позиций).

Данными авторами расширен спектр возможных изоморфных замещений в ряде позиций структуры, что подтверждает наш вывод о возможности рассмотрения эвдиалита как МПСПС. Согласно (Johnsen, Grice, 1999), содержание изоморфных примесей в 6-членных Ca-кольцах может достигать 0.69 и 0.79 к.ф. (в коэффициентах на формульную единицу) для Y (обр. №7 и №8 из Кипавы табл. 1, п/п 16 и 18), 0.25 к.ф. для железа (совместно с Mn, REE и Y) (обр. №15 из Илимаусака табл. 1, п/п 13), 0.18 к.ф. Zr (совместно с Mn, REE и

^β — в ацентричной группе замещение $2^{[4]}Si_6 \leftrightarrow [6]M(3) + [4]Si_7$, происходит по тем же позициям, что и в $R\bar{3}m$: Si(7), Si(7a), M(3), M(3a) и M(3b), с симметрией $3m$, но «дополнительный» октаэдр в нижнем 9-членном кольце, занятый обычно Nb, более хорошо выражен. Он образован тремя атомами O(9) из направленных внутрь кольца $[SiO_4]$ -тетраэдров и тремя «дополнительными» атомами O(19). Установлено следующее заселение позиций, приводящее к возрастанию доли ниобия в «дополнительных» октаэдрах: $[Si(7,7a), M(3,3a,3b)] = Si_{1.37}Nb_{0.63}$ в обр. №11, $[Si(7,7a), M(3,3a,3b)] = Si_{1.33}Nb_{0.67}$ в обр. №4, $[Si(7,7a), M(3,3a)] = Si_{0.93}Nb_{0.45}Al_{0.42}Zr_{0.20}$ в обр. №17, $Si(7) = 0.67$, $Si(7a) = 0.33$, $M(3,3a) = Nb_{0.67}Ta_{0.04}Ti_{0.06}$, $M(3b) = Si_{0.12}$ в обр. №2, $Si(7) = 0.85$, $Si(7a) = 0.26$, $M(3) = Nb_{0.55}Zr_{0.13}Ti_{0.08}$ в обр. №13, $Si(7) = 0.62$, $Si(7a) = 0.42$, $M(3) = W_{0.32}Nb_{0.31}$ в обр. №6, $Si(7) = 0.84$, $Si(7a) = 0.09$, $M(3,3a) = Nb_{0.78}Ta_{0.07}$ в обр. №3, $Si(7) = 0.82$, $Si(7a) = 0.11$, $M(3) = Nb_{0.95}$ в обр. №16, (см. табл. 1).

У) (обр. №9 из Сент-Амабля табл. 1, п/п 11). При более высоком содержании примесей они упорядочиваются. Например, в онейлите (табл. 1, п/п 25) октаэдры меньшего размера $M(1a)$ полностью замещены на Mn и Y, а в более крупные октаэдры $M(1b)$, кроме Ca, входят REE и Na.

Отметим, что все исследованные образцы названы авторами ещё *эвдиалитами*, хотя их подразделяют уже на «*eudialytes sensu lato*» и «*eudialytes sensu stricto*», то есть «в общем» и «в частном» смыслах. Особое внимание авторы уделяют «эвдиалиту №13» (табл. 1, п/п 20), оформленному ими в качестве нового минерального вида — *кентбруксита* (Johnsen *et al.*, 1998). Но это особая история, и о ней в следующем разделе.

Эвдиалит и проблема выделения минеральных видов и разновидностей

«До Великой Октябрьской Революции в тундре ничего не росло...».

Из Справочника краеведа по Кольскому п-ову (1930-е годы)

«Великая Эвдиалитовая Революция» началась с работ О. Йёнсена, Дж.Д. Грайса и Р.А. Гаулта (Johnsen *et al.*, 1998), которые зарегистрировали в КНМНК описанный ими ранее «эвдиалит №13» (табл. 1, п/п 20), обогащенный Nb, Mn, REE, Sr и F, из Кангердлутсук, В. Гренландия, (Johnsen, Gault, 1997), как новый минеральный вид *кентбруксит*. Эти авторы не сочли нужным сослаться ни на данные о детально химическом изучении находке эвколита подобного состава на Енисейском кряже (Свешникова, Бурова, 1965), ни на последующее его изучение рентгеновскими, физическими и спектроскопическими методами в связи с нашей ревизией барсановита (Боруцкий и др., 1968), ни на полное структурное уточнение этого TR,Mn-эвколита с аналогичными кристаллохимическими выводами (Расцветаева, Боруцкий, 1990). Ссылка на последнюю нашу работу появилась только через 13 лет (Johnsen *et al.*, 2003₁) с припиской «for completeness», то есть знают работу, но обсуждать не хотят. Дело, конечно, не в отсутствии ссылки, а в прецеденте. Не считая нужным хотя бы упомянуть о полуторавековой истории изучения эвдиалитов и эвколитов, без всяких ссылок на предыдущие работы, без какого-либо их анализа и критики, и вообще без упоминания термина *эвколит*, они решительно заменили *эвдиалит-эвколитовый* изоморфный ряд на *эвдиалит-кентбрукситовый* (Johnsen, Gault, 1997; Johnsen, Grise, 1999; Johnsen *et al.*, 2003₁).

Конечно, появление кентбруксита можно было бы объяснить тем, что его авторы сравнительно недавно стали изучать эвдиалиты и не знакомы с соответствующей литературой, с историей изучения этого минерала и ничего не слышали об *эвколите*. Возможно, они не знали, что в первом же анализе эвколита из Лангезундфiorда (Норвегия) В.С. Брёгером (Brögger, 1890) было установлено повышенное относительно эвдиалитов содержание ниобия (3.52% Nb₂O₅), редких земель (4.80% Ce₂O₃ и 0.32% Y₂O₃) и марганца (3.60% MnO) и пониженное содержание хлора (0.55% Cl), то есть то, на что они обра-

щали внимание в составе кентбруксита. Они не хотели видеть, что «открытые» ими закономерности полностью согласуются с выводами, полученными в результате работ Е.Е. Костылевой (1929, 1936), В.Г. Феκληчева (1963, 1965, 1979), С.М. Кравченко и Е.Г. Проценко (1966), Б.Е. Боруцкого с соавторами (1968), Дж.Б. Даусона и Т. Фриша (Dawson, Frisch, 1971), И.Д. Борнеман-Старынкевич (1975), А.П. Хомякова и др. (1975), Е.Е. Костылевой-Лабунцовой и др. (Минералогия..., 1978), Х.Дж. Боллинберга и др. (Bollingberg *et al.*, 1983), Р.К. Расцветаевой с соавторами. (1987, 1988, 1990₁), Р.К. Расцветаевой и Б.Е. Боруцкого (1990), Э.В. Польшина и др. (Pol'shin *et al.*, 1991), Р.К. Расцветаевой (1992). Диву даешься, как можно не заметить целой полуторавековой эпохи в истории исследований этого минерала. Если эти исследователи только через 10 лет узнали об этом, то почему они ограничились «for completeness», а не попытались сопоставить свои данные с прежними? Совершенно очевидно, что эта «эвдиалитовая революция» прежде всего некорректна по отношению к памяти российских и зарубежных ученых, внесших огромный вклад в изучение данного уникального минерала. Великий Архимед говорил: «Дайте мне точку опоры, и я переверну мир». В данном случае в качестве точки опоры выбрали кентбруксит, и в последующей серии статей авторы упорно «запихивают» свои «новые» минералы: хомяковит, манганохомяковит, онейлит (Johnson *et al.*, 1999₁; 1999₂) в эвдиалит-кентбрукситовый ряд.

Так или иначе, «кость была кинута», и с этих пор «структурщики» начали растаскивать эвдиалит на самостоятельные минеральные виды, соревнуясь между собой, кто скорее увенчает себя лаврами первооткрывателя новых минералов, тем более что это не трудно: исповедуя принципы КНМНК ММА, их видно «невооруженным глазом», как подосиновики в тундре. Как подучивал А.Е. Ферсман над своими спутниками в Хибинах если не находите минералы, то можно заняться «фунгиологией», то есть сбором грибов. Действительно, при наличии такого огромного количества позиций в структуре, можно каждое новое структурное уточнение возводить в ранг новых бессмысленных минералов, упростив или слегка «скорректировав» химический анализ, придав особое значение отклонениям в симметрии или в размерах элементарной ячейки или применив к эвдиалитам концепцию о модулярных структурах.

Справедливости ради следует сказать, что кентбруксит не первая подобная попытка. Вспомним историю с барсановитом. Когда стало ясно, что это не новый цирконосиликат, а эвколит (Боруцкий и др., 1968; Расцветаева и др., 1987; 1990₁), у некоторых исследователей появилось желание заменить эвдиалит-эвколитовый ряд на эвдиалит-барсановитовый, а когда термин эвколит «структурщики» втихомолку выбрали на помойку, кое-кто решил возродить его под новым именем — сначала как «Fe,Cl-аналог кентбруксита» (Екименкова и др., 2000₂) (табл. 1, п/п 9), а затем, как «георгбарсановит» (Хомяков и др., 2007) (табл. 1, п/п 10). Повторное изучение голотипа — «желто-зеленого барсановита» из фондов Минералогического музея РАН

дало несколько более высокое содержание Nb⁹ и Si, из-за чего его структура была переосмыслена, и «дополнительный» октаэдр в нижнем 9-членном кольце был дополнен кремнием, а весь избыток Zr «переведен» в «железную» позицию *M(2)*. То есть георгбарсановит оказался не столь *высокоупорядоченным*, как его предшественник барсановит и должен уступить «насиженное» место с краю изоморфного ряда другим эвколитами, например, обр. № 325 (табл. 1, п/п 5) и № 1008 (табл. 1, п/п 6). Дискуссия по этому поводу уже была в печати (Хомяков, Расцветоваева, 2005; Боруцкий, 2007).

Если в качестве видообразующего признака крайних членов эвдиалит-эвколитового (или эвдиалит-кентбрукситового, или эвдиалит-барсановитового) ряда рассматривать не полное заселение нижних 9-членных колец «дополнительными» октаэдрами *M(3)*, независимо от состава входящих туда примесей (Nb, Zr, Ti, Al, W), а сосредоточить внимание только на ниобии, как это предусматривает разработанная теми же исследователями (Johnsen *et al.*, 2003₁; Khomyakov, 2004; Хомяков и др., 2006₁) номенклатура и систематика минералов эвдиалитовой группы, то недоумение вызывает химический состав рассматриваемых минералов. Согласно О. Йёнсену и Дж.Д. Грайсу (Johnsen, Grice, 1999), наибольшее содержание Nb в *M(3)* 0.95 к.ф. установлено не в кентбруксите (0.55 к.ф.), а в безымянном (не охарактеризованном геологически) эвдиалите-*R3m* №16 из Хибин (табл. 1, п/п 26). В барсановите Nb в *M(3)* 0.67 к.ф. (Расцветоваева и др., 1990₁), в георгбарсановите — 0.80 к.ф. (Екименкова и др., 2000₂; Хомяков и др., 2007). Через три года после статьи (Екименкова и др., 2000₂) за рубежом появилось описание нового минерала — феррокентбруксита (Johnsen *et al.*, 2003₂) (табл. 1, п/п 29), аналогичного по химическому составу и свойствам «Fe,C1-аналогу кентбруксита» и, следовательно, барсановиту, с составом *M(3)* = Nb_{0.64}Si_{0.23}. Но еще до этого И.А. Екименкова с соавторами (2000₁) успели уточнить структуру не столь далекого от них «Fe,Sr-аналога кентбруксита» (табл. 1, п/п 28) с составом *M(3)* = Nb_{0.7}Si_{0.3}. Содержание ниобия во всех этих образцах выше, чем в кентбруксите. Так имеет ли кентбруксит право занимать крайнее положение в рассматриваемом изоморфном ряду?

Таким образом, нам была блестяще продемонстрирована «новейшая» методология: стоило обозвать один из эвколитов новым именем *кентбруксит*, как его аналоги посыпались, как «из рога изобилия». Авторы этих «новых» минералов, как зарубежные, так и отечественные, сделали всё, чтобы стереть из памяти поколений тот огромный вклад, который внесли в изучение эвдиалит-эвколитовой проблемы наши предшественники. Термин *эвколит* в структурной литературе больше не упоминается, а все «новоиспеченные» минералы для удобства сравниваются только с крайним по составу *собственно эвдиалитом*. Благодаря такой «лукавой» технологии эвколит негласно клонирован уже более чем в 20 «новых» минеральных видов.

Мы считаем, что эвдиалит является одним минеральным видом, а не двадцатью!

В своё время А.Е. Ферсман писал (1943): «В минералогии XVIII века, в работах наших корифеев Н.И. Кокшарова и П.В. Шремеева и большинства минералогов немецких школ минерал занимал самодовлеющее место, как независимый минеральный вид, как нечто постоянное, всегда существовавшее и неизменное. Иначе понимает «минерал» современная наука; это не отвлеченное и независимое от всего окружающего природное тело, это не отвлеченная геометрическая фигура со свойственным ей кристаллографическим обликом, это даже не физическое тело в узком понимании теоретика-физика. Для нас минерал есть часть окружающей нас природы, тесно и непосредственно связанная во всей своей истории прошлой, настоящей и будущей... Минерал есть часть сложнейших химических процессов, которые идут в природе независимо от воли человека». Так минералогию преподавали в советских ВУЗах, и этим наша наука заслуженно гордилась. Теперь идеология, насаждаемая КНМНК, отбрасывает нас вновь в XVIII в. И это — при наличии столь мощного метода, каким является рентгеноструктурный анализ. Обидно. Методы должны работать в интересах науки, а не против неё. Но «структуристики», по-видимому, решили, что современная минералогия сводится к кристаллохимии и структурные подробности минерала необоснованно возводят в ранг главных видообразующих критериев. Рассматриваемые структурные особенности хороши как характеристика *структурных разновидностей*, но никак не *минеральных видов*.

Не будем повторяться в отношении *существенных и менее существенных признаков*. Геологов в меньшей степени интересует, какой перед ними кварц — левый или правый, чем с какой формой SiO₂ они имеют дело с кварцем, кристобалитом или тридимитом. В нашем случае так ли уж важно, по каким позициям в структуре распределяется Mn, входит ли он одновременно в несколько позиций или «уединяется» в одной, «размазывается» в структуре или где-то «доминирует»? Более существенно то, что эвдиалит — марганцевый, так как это может отражать специфические условия его образования. Почему такое внимание отводится «дополнительной» позиции *M₃* в центре нижнего 9-членного кольца? Почему привилегированная роль отводится ниобию? А.Г. Булах (2004) справедливо замечает, что «содержания экзотических элементов — Nb (или W) составляет всего около 1 ат. %, и присутствие или отсутствие их несколько принципиально не сказывается ни на топологии структуры эвдиалита, ни на метрике его кристаллической решетки, ни на физических свойствах».

В структуре эвдиалита, в зависимости от симметрии, выделяют 31 — 48 — 56 позиций. Если отбросить позиции кислорода и каркасного кремния: 16 — 22 — 22. О. Йёнсен и Дж.Д. Грайс (Johnsen, Grice, 1999) настаивают и утвердили на Номенклатурной подкомиссии КНМНК (Johnsen *et al.*, 2003₁), что можно обойтись и без остальных анионов, тогда позиций: 11 — 14 — 15. Хотя почему такая дискриминация — в их кентбруксите видооб-

⁹ — Это не трудно сделать, так как по рентгеновскому поглощению ниобий практически неотличим от циркония.

разующим был назван фтор, в других эвдиалитах установлены (CO_3) , S, OH, H_2O , H_3O^+ — разве это не интересно, не характеризует среду минералообразования? В эвдиалитах с удвоенной ячейкой 60 Å число позиций удваивается, то есть: 22 — 28 — 30. Если учесть, что в эвдиалит могут одновременно входить около десяти компонентов, причем распределяться по нескольким позициям, то мы имеем бесчисленное число вариантов, и практически каждое структурное уточнение образца, при «творческом» использовании «правила доминантности», можно «подогнать» под новый минеральный вид. Если к этому добавить изменение симметрии, удвоение ячейки, структурную упорядоченность компонентов, модулярные модели структуры, то можно согласиться с А.П. Хомяковым, что возможности «открытия» видов минералов становятся неограниченными. Однако, нужна ли такая подробная структурная систематизация геологам? Отражает ли она реальные взаимоотношения между эвдиалитами в природе?

Напомним, что в большинстве случаев присутствующие в эвдиалитах химические элементы являются многочисленными микропримесями, входящими в минерал в результате ряда одновременно идущих сопряженных химических реакций. Если принимать это во внимание при выделении видов, используя рекомендуемое КНМНК «правило доминантности», то необходимо рассматривать многокомпонентную систему, в которой, как известно, в 3-ой системе «правило 50%» преобразуется в «правило 33.3%» (Nikel, 1992; Бокий, 1997), в 4-ой — 25%, в 5-ой — 16.6% и т.д. Если учесть, что в эвдиалит одновременно входит более 10 компонентов, то данный анализ теряет всякий смысл. Ранжирование химических анализов эвдиалитов по атомным процентам (Булах, Петров, 2003; Bulakh, Petrov, 2004) показало, что вслед за кислородом, Si и Na наибольшее значение имеют сочетания Ca и Mn (4 ранг), Fe и Mn (5 ранг), Mn, Fe, Sr и K (6 ранг), и можно согласиться с данными авторами о выделении всего четырех минеральных видов: «Ca,Fe-эвдиалита», «Ca,Mn-эвдиалита», «Mn,Ca-эвдиалита» и «гидроэвдиалита» (Булах, 2004). Все остальные — являются их разновидностями, естественно, химическими. Вспомним, что В.Г. Фекичевым (1963) выделялись три типа хибинских эвдиалитов: 1) железистого ряда, в которых $\text{Fe} > \text{Mn}$, 2) марганцовистого ряда, с $\text{Mn} > \text{Fe}$ и 3) водные и водно-кальевые, содержащие значительное количество воды при пониженном содержании щелочей. Позже (Фекичев, 1979) им были выделены 5 типов эвдиалита: 1) обогащенные щелочами (в основном Na, в меньшей степени K), 2) обогащенные Mn, REE, Nb, 3) обогащенные Mn, Fe^{3+} , Nb и OH, 4) обогащенные Mn, Nb, Fe^{3+} , H_2O^+ , OH, 4) обогащенные K и H_3O^+ . Эти исследования являются примером химического подхода к вопросам видообразования, но выделяемые виды (или типы) эвдиалитов контролируются статистикой нахождения их в природе.

В дискуссиях часто задают вопрос: что главнее — химический состав, структура или генетическая

характеристика минерала? Все главнее, так как они — одно целое, отражающие разные стороны природы минерального вещества: минерал не может не иметь состава или структуры и не образовываться в природных геологических процессах. К сожалению, физико-химические условия существования эвдиалита плохо изучены. Согласно Л.Н. Когарко с соавторами (1980; 1981), он может кристаллизоваться в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{ZrO}_2$, моделирующей агапитовый магматический расплав, ниже 903°C, а выше этой температуры плавится инконгруэнтно с образованием кельдышита. В пограничной области устойчив парагенезис эвдиалита с кельдышитом, нефелином, содалитом и расплавом. В такой системе, конечно, не могли быть изучены вариации химического состава эвдиалита. Ранее он был синтезирован гидротермальным путем в кальцийсодержащей системе, и было показано, что может существовать и без железа (Christophe-Michel-Levy, 1961).¹⁰

Таким образом, пока нет данных, что в поле устойчивости эвдиалита существуют какие-либо фазовые переходы или он распадается на самостоятельные фазы, и есть основание рассматривать его генетически пока как один минеральный вид, в частности как МПСРС. Способность структуры эвдиалита к ионо-обменным замещениям показывает, что химические и структурные изменения в поле его стабильности являются постепенными, непрерывными, отражающими изменение условий окружающей среды за время кристаллизации и дальнейшего существования минерала, что согласуется с такой трактовкой фактических данных. При описании «новых» минералов «эвдиалитовой группы», зарегистрированных КНМНК, нет и намек на существование самостоятельных полей их стабильности. По нашему мнению, до тех пор, пока не будет таких данных, описываемые минералы следует рассматривать как *разновидности минерального вида* — химические, структурные, структурно-химические.

Учитывая всё выше сказанное, мы считаем, что термин *эвколиит* необходимо возродить. Эвколиит это групповое название структурно-химических разновидностей эвдиалита, реально возникающих в природе при изменении внешних условий, в силу уникальных способностей цеолитоподобной структуры этого минерала — легкости ионообменных замещений. Именно это позволяет рассматривать его как МПСРС. Эвдиалит и эвколиит можно разграничивать по изменению симметрии $R\bar{3}m$ в $R3m$ (а не по оптическому знаку). Граница эта условная, так как изменения в кристаллической решетке являются статистическими, и, как мы показали ранее (Боруцкий и др., 1968), в исследованных образцах менялась интенсивность пьезоэффекта, что может указывать на блоковое строение из центросимметричных и асимметричных фрагментов.

Несколько удивляет позиция КНМНК ММА, а также её номенклатурных подкомиссий. Мы уже привыкли к западным двойным стандартам в политике, но прискорбно, что они начинают охватывать

¹⁰ — Согласно предложенной номенклатуре (Johnsen *et al.*, 2003; Khomyakov, 2004; Хомяков и др., 2006₁), железо в собственно эвдиалите $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O},\text{OH},\text{H}_2\text{O})_3(\text{Cl},\text{OH})_2$ является необходимым компонентом.

и науку. С одной стороны, настаивают на переименовании *рамзаита* в *лоренценит*, а *карпинскиита* в *лейфит* по названию первой находки минералов, несмотря на вопиющие ошибки в химических анализах¹¹ прототипов, а с другой стороны, молча наблюдают, как существовавший полтора столетия, генетически осмысленный, термин эвколит подменяют новым понятием *кентбруксит*, возведенным ни с того ни с сего в ранг самостоятельных минералов, и сводят эвдиалит-эвколитовую проблему к частному эвдиалит-кентбрукситовому ряду без веских аргументов и обсуждения специалистами в данной области минералогии. Изменение химического состава минералов, особенностей их структуры и связанных с ними свойств является *нормальным* событием в «жизни» минералов, обусловленным изменением физико-химических параметров окружающей среды. Если эти изменения не приводят к выходу данной формы минерального вещества за пределы его поля стабильности, то нет никаких оснований описывать эти явления как возникновение новых минеральных видов.

«Овечки Долли» и введение в «ДНК-эвдиалитологию»

Первой признанной «овечкой Долли» стал, конечно, *кентбруксит* (Johnsen *et al.*, 1998), «генным» материалом для которого был эвколит вообще, и «REE, Mn-эвколит» с Енисейского кряжа в частности (Расцветаева, Боруцкий, 1990). Отечественные исследователи до этого создали нечто подобное — *барсановит*, но, к несчастью, опередили время. Теперь на «эвдиалитовом пастбище» бодро пасется целая «отара кентбрукситиков»: *феррокентбруксит* (Johnsen *et al.*, 2003₁), *Fe, Cl-аналог кентбруксита* (Екименкова и др., 2000₂), *Fe, Sr-аналог кентбруксита* (Екименкова и др., 2000₁), *K-кентбруксит* (Расцветаева, Хомяков, 2005), *георгбарсановит* (Хомяков и др., 2007), *карбокентбруксит* (Хомяков и др., 2003). Такая же «овечка» *цирсилит-Ce*¹² (Хомяков и др., 2003), с той лишь разницей, что в позиции N_4 Na и Ce поменялись местами — в карбокентбруксите сумма REE = 1.16 к.ф., в цирсилите — 1.45 к.ф. Неужели этого достаточно для выделения цирсилита в качестве самостоятельного минерала? В данном случае даже не выполняется формальное правило доминантности, так как содержание REE не достигает половины в занимаемой ими позиции N_4 . Там же «щиплют травку» *хомяковит*¹³ и *манганохомяковит* (Johnsen *et al.*, 1999₂), но «родинки» на их шкуре сложены вольфрамом, а не ниобием, факт, сам по себе уникальный, но недостаточный, чтобы «овечку» превратить в «козочку». Однако уже всерьез обсуждается вопрос о выделении *содио-хомяковитов*, *стронцио-мангано-хомяковитов*, и *стронцио-ферри-хомяковитов* (Johnsen

et al., 2003₁). Примесь стронция также не дает «селекционерам» покоя, и к «отаре» присоединился *тасекит* (Peterson *et al.*, 2004) — стронциевая «овечка». Полагаем, что гораздо корректнее было бы именовать все эти минералы не *Fe, Cl-*, *Fe, Sr-кентбрукситами*, а *Fe, Cl-*, *Fe, Sr-*, *Ce-*, *Sr-*, *W-*, *Mn, W-*, *Nb-*, *карбонат-* и т.п. *эвколитами*. Общим для всех них является то, что «видообразующий» компонент представлен микропримесью, не играющей никакой роли в химической индивидуальности эвдиалита, и вся проблема видообразования сводится к поиску неэквивалентной позиции, в которой он, хоть чуть-чуть бы, преобладал над остальными «квартирантами».

Несколько особняком стоят *фекличевит* (Пекков и др., 2001), *гольшевит*¹⁴ (Чуканов и др., 2005; Розенберг и др., 2005₁) и *могодивит* (Чуканов и др., 2005) — эвдиалиты из карбонатитового массива Ковдор, в которых, естественно, существенную роль играют кальций и карбонат-ион (табл. 1, п/п 34–36). Вселяясь в «коммунальные многонаселенные квартиры» N_3 и N_4 , кальций начинает задавать тон, а поскольку это не примесь, а минералообразующий компонент, слагающий 6-членные кольца каркаса, то можно понять А.Г. Булаха (2004), выделяющего после ранжирования химических анализов по ведущим элементам «*Ca, Fe-эвдиалит*» в самостоятельный минеральный вид. Полагаем, что это действительно потенциально самостоятельный вид, и физико-химическое изучение соответствующей модельной системы это со временем подтвердит.

Не нужно думать, однако, что «структурщики» занимались только «овцеводством» и за это время не было открыто ничего существенного. Чрезвычайным событием была находка А.П. Хомяковым в Ловозерском массиве титанового аналога эвдиалита — *алуайвита* с элементарной ячейкой, удвоенной до 60 Å (Хомяков и др., 1990; Расцветаева и др., 1990₃). Это совсем не «овечка Долли». В алуайвите Zr-октаэдры каркаса полностью замещены на титановые это единственный случай среди эвдиалитовых «новых» минералов, когда реально существуют оба крайних члена изоморфного ряда, тогда как обычно «доминантные» компоненты едва «дотягивают» до половины структурной позиции или чуть больше и при этом представлены микропримесью, не играющей решающей роли для индивидуализации минерала в минералообразующих процессах. Индивидуальность алуайвита была обоснована и генетически, так как его выделения нарастали на кристаллы эвдиалита и между ними наблюдался разрыв составов. Но вскоре эти исследователи опубликовали данные о структуре промежуточного между эвдиалитом и алуайвитом «*Ti-эвдиалита*» (Rastvetaeva *et al.*, 1999) — будущего *гуаули-*

¹¹ — В анализе лоренценита из Нарсарсука вместо титана было найдено 11% ZrO₂, а в лейфите пропущен бериллий.

¹² — Сами же авторы отмечают, что кристаллические структуры карбокентбруксита и цирсилита не отличаются от структуры кентбруксита. Единственное отличие — наличие (CO₃)-группы, хотя «законодатели» (Johnsen *et al.*, 2003₁), договорились, что анионы не будут учитываться при систематизации минералов группы эвдиалита.

¹³ — Содержание вольфрама в хомяковите всего 0.56 к.ф., но это нисколько не мешает авторам «натягивать» его до единицы и записывать формулу как: Na₁₅Ca₆Mn₂Zr₇W(Si₂₅O₇₃)(O, OH, H₂O)₃(Cl, F)₂.

¹⁴ — Методом ЯРГ было подтверждено, что Fe³⁺ в позиции «железа» в гольшевите и могодивите преобладает над Fe²⁺ и находится в октаэдре, что согласуется с аналогичным выводом для некоторых эвколитов (Pol'shin *et al.*, 1991). Кроме того, эти минералы являются (CO₃) доминантными в позиции X₁.

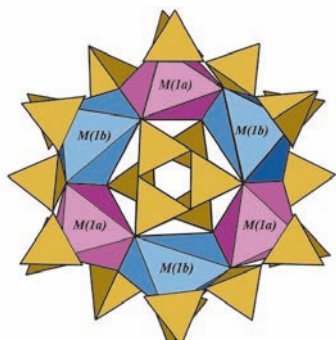


Рис. 5. В 6-членном кольце кристаллической структуры оней-лифта октаэдров $M(1a)$ имеют меньший размер (среднее расстояние $M-O$ 2.227 \AA) и заняты Mn, а октаэдров $M(1b)$ больший размер (2.431 \AA) и заняты Ca и REE. По O. Johnsen &

J.D. Grice (1999) и O. Johnsen et al. (1999.) этого гостаточно, чтобы за счет утраты плоскостей отражения симметрии решетки снизилась до R3. Аналогичный эффект вызывает вхождение в октаэдров 6-членного кольца железа ($M(1a) = Fe_{2.2}Ca_{0.3}Mn_{0.3}$, $M(1b) = Ca_{2.2}REE_{0.3}$ – Екименкова и гр., 2000₃), а также натрия и групп элементов ($M(1a) = Mn_{2.1}Ca_{0.72}Ce_{0.18}$, $M(1b) = Na_{1.35}Ca_{1.05}Ce_{0.45}Sr_{0.15}$ – Расцветаева и гр., 1999₂).

та.¹⁵ А через 12 лет (Агеева и др., 2002.) алуайвит был найден и в Хибинах, причем в двух формах: как в виде изолированных, нарастающих на эвдиалит зерен, так и в периферических каемках кристаллов эвдиалита, постепенно переходящих в алуайвит в ходе замещения Zr, K, Sr, Fe и Cl на Ti, Nb, Si, Na и S. Таким образом, повторилась история с щелочными полевыми шпатами: в одних условиях это непрерывный изоморфный ряд (один минеральный вид), в других – два реальных, существующих в природе, крайних члена (два минеральных вида).

Кстати, авторы дуалита (Хомяков и др., 2007) вновь лукавят, не замечая существования остальных промежуточных эвдиалит-алуайвитов, настаивая на разрыве изоморфного ряда и при этом рассматривая дуалит как упорядоченный его член с $Zr:Ti = 1:1$ (проводя аналогию с доломитом). Промежуточный член изоморфного ряда не является самостоятельным видом, даже по инструкциям КНМНК, так что дуалит – это очередная «овечка Долли». Закономерное модулярное его строение, скорее всего, указывает на блокочный изоморфизм, проявившийся в результате позднего метасоматического замещения под влиянием высокощелочных растворов.

Модулярная 24-слойная модель «Ti-эвдиалита» предусматривает чередование «эвдиалитового» – $Zr(Ti), Ca(Mn), Ti(Fe), Si(Al)$ и «алуайвитового» – $Ti(Zr), Ca(NaCe), Na, Si(Mn)$ блоков, удваивающих ячейку в направлении оси с. Удивляет, однако, что при первоначальном анализе структуры авторы (Rastsvetaeva et al., 1999) странным образом «потеряли» ниобий, которого в химическом анализе было найдено 1.67 – 3.74 мас. % Nb_2O_5 , что составляет от 0.76 до 1.70 к.ф. и должно было существенно сказаться на предлагаемой модели структуры.

При утверждении гуалита как нового минерала в КНМНК эта оплошность была исправлена (Хомяков и др., 2007) Для подобных структур (Johnsen et al., 2003; Хомяков и др., 2006; 2007) предложена универсальная структурная формула:

$$[N(1)_3N(1^*)_3N(2)_3N(2^*)_3N(3)_3N(3^*)_3N(4)_3N(4^*)_3 \times N(5)_3N(5^*)_3][N(6)_3][N(7)_3][M(2)_3M(2^*)_3] \times [M(3)M(3^*)][M(4)M(4^*)]\{[M(1)_6M(1^*)_6][Z_3Z^*_3] \times [Si_9O_9]_2[Si_3O_9]_2[Si_9O_{27}]_2[Si_9O_{27}]_2[O, OH, H_2O]_4 \times [O, OH, H_2O]_4\}X_2X^*_2$$

в которой звездочкой выделены позиции во второй половине удвоенной ячейки и где $N(1-7)$ и $N(1^*-5^*)$ – Na, $N(4$ и $4^*)$ – Na, K, H_3O^+ , Ca, Sr, Mn, REE, $N(6)$ и $N(7)$ – K, Sr, $M(2$ и $2^*)$ – Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn, REE, Na, $M(3$ и $3^*)$ – Si, Nb, Ti, Zr, Mn, W, $M(4$ и $4^*)$ – Si, $M(1$ и $1^*)$ – Ca, Mn, Sr, REE, Y, Na, Z и Z^* – Zr, Ti, Nb, X и X^* – Cl, F, S, SO_4 , CO_3 , H_2O , OH. К сожалению, из публикации (Хомяков и др., 2007) так и осталось неясным, к какому же выводу пришли авторы: либо в позициях Z наблюдается упорядоченность между Zr и Ti с добавлением Nb ($Zr_{2.0}Ti_{0.7}Nb_{0.3}$ и $Ti_{1.7}Zr_{1.0}Nb_{0.3}$) (см. стр. 37 в указанной публикации), что отмечалось авторами ранее без поправки на Nb (Rastsvetaeva et al., 1999), либо цирконий и титан полностью разобщены в этих позициях (см. стр. 34 там же, автореферат и округленную формулу, с которой дуалит был утверждён как «новый» минерал). Эта «тонкость», очевидно, может быть решающей для интерпретации природы минералов эвдиалит-алуайвитового ряда. Интересно, что в алуайвитовом модуле в позиции $M(3)$ в центре 9-членного кольца установлен Mn в тетраэдрической координации.

Представленная модель дуалита, однако, сильно напоминает синтактический сросток этих минералов на элементарном уровне, что, как известно, не редкость в метасоматических образованиях. Это описано, например, для прорастаний эпистолита, мурманита и шкатулкалита (Nemeth et al., 2005) или борнеманита, сложенного из модулей сейдозерита и ломоносовита (Ferraris et al., 2001). То же самое отмечалось и для некоторых лабунцовитов. В частности, наличие дополнительных рефлексов вдоль a^* , удваивающих ячейку и приводящих к симметрии $I2/m$, объяснялось чередованием микродоменов (~ 2 нм), параллельных (100), D-заполненного Mn-лабунцовита и D-вакантного Валеммлейнита, возникших в ходе неравномерного роста или последующих твердофазовых превращений в минерале (Organova et al., 2007).

Вторым значительным событием, несомненно, является обнаружение эвдиалитов с изоморфными замещениями в 6-членном кальциевом кольце каркаса структуры. Существенное замещение Ca на Mn наблюдалось уже в алуайвите (Хомяков и др., 1990; Расцветаева и др., 1990₃), Ca на Mn и Ca на Na – в разных модулях дуалита (Rastsvetaeva et al., 1999; Хомяков и др., 2007), но исследователей это не очень интересовало, так как доминантным такое замещение становится лишь при замещении 6 к.ф. Ca более чем на 3 к.ф. примеси. И это было

¹⁵ – Исследователи не замедлили зарегистрировать его в качестве нового минерального вида – гуалит (Хомяков и др., 2007), рассматривая его структуру, как модулярную, построенную из модулей эвдиалита и алуайвита. Минералогия знает подобные образования, например, ряд плагиоклазов, сложенных чередующимися блоками альбита и анортита, о чем свидетельствует появление ряда «сверхструктурных» отражений на рентгенограммах. Но еще не нашлось исследователей, которые отважились бы зарегистрировать гомогенные промежуточные члены плагиоклазового ряда как новые минеральные виды.

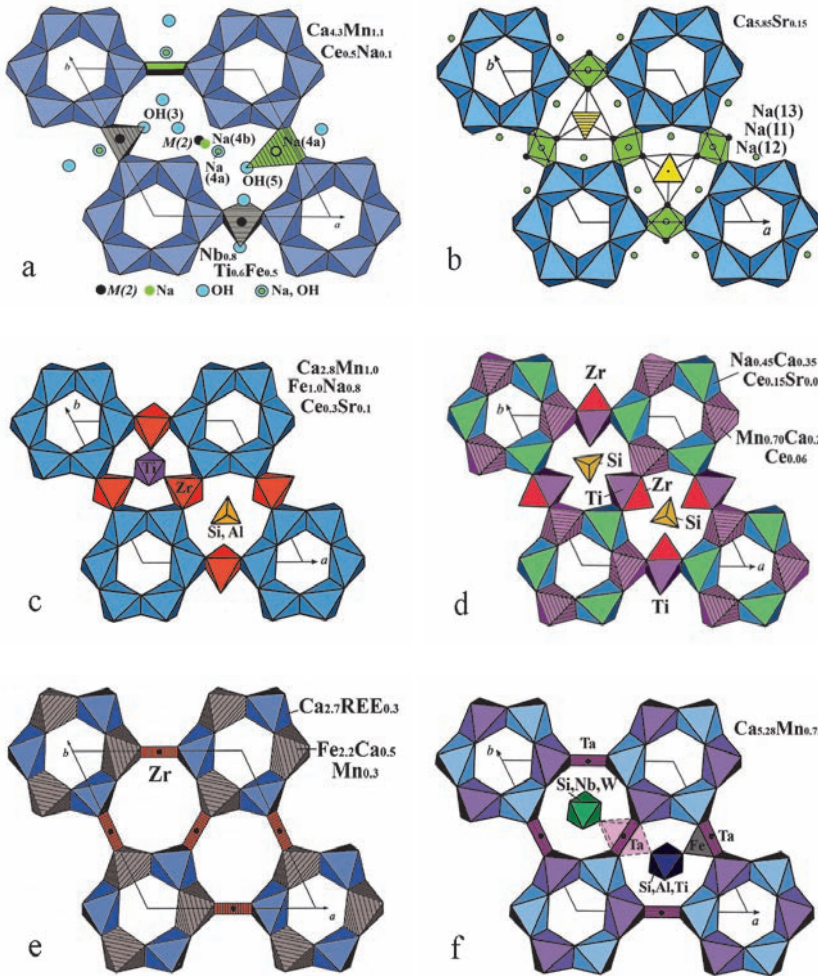


Рис. 6. Вхождение микропримесей различного состава, размера и валентности в область «железной» позиции. По Р.К. Расцветаевой и А.П. Хомякову (1998), (2001₁), (2002₂), (2000₁), И.А. Екименковой и др. (2000₂) и Р.К. Расцветаевой и др. (2003), соответственно. а — различные варианты статистического заселения в низкожелезистом эвдиалите: плоский квадрат Fe^{2+} (позиция $^{4}Fe^{2+}$), занятый натрием (Na4b), пятивершинники M(2) (полуоктаэдры), дотраиваемые OH(3)-группой, занятые Fe^{3+} или Mn ($^{5}Fe^{3+}$, ^{5}Mn), октаэдры M(2), дотраиваемые двумя OH-группами, занятые в основном Nb и Ti, и Na-полуоктаэдры (Na4a), дотраиваемые OH(5)-группой; б — статистическое заселение позиций Na(11) («квадрат») и Na(12) и Na(13) (семивершинники) в «аллауйвитовом» модуле высокотемпературного эвдиалита; в — циркониевые октаэдры в позиции M(2) в гиперциркониевом аналоге эвдиалита; д — статистическое заселение «квадратов» ^{4}Fe (к.ф. 1.55) и двух

типов пятивершинников: M(2a) состава $Zr_{0.63}Na_{0.57}$ и M(2b) состава $Ti_{0.17}Nb_{0.13}$ в Mn, Na-упорядоченном аналоге эвдиалита-R3; е — вхождение циркония в деформированный «квадрат» M(2,4) ($Zr_{0.6}Hf_{0.1}$), марганца — в пятивершинник M(2,5a) ($Mn_{0.6}$) и натрия — в пятивершинник M(2,5b) (Na1.5) в эвдиалите-R3 с упорядоченным распределением кальция и железа; ф — вхождение тантала в «квадрат» ($^{4}Ta_{0.51}$) (возможна также 6-я его координация) и железа — в пятивершинник ($^{5}Fe_{1.33}$) в высокотемпературном эвдиалите из Бразилии.

найден в онейллите (табл. 1, п/п 25) (Johnsen, Grise, 1999), в котором половина Ca вытеснена Mn, что привело к потере плоскости симметрии и снижению пространственной группы до R3 (рис. 5)

Позже к нему добавились: «эвдиалит с упорядочением кальция и железа»¹⁶ (Екименкова и др., 2000₃) будущий *раслакит* (Чуканов и др., 2003) (табл. 1, п/п 41), в котором в одной половине октаэдров в 6-членных кольцах преобладает $Ca_{2.7}$ вместе с $REE_{0.3}$, а в другой $Fe_{2.2}$ с примесью $Ca_{0.5}$ и $Mn_{0.3}$; «Mn, Ce-эвдиалит с упорядочением кальция и марганца» (Расцветаева и др., 1999₂) (табл. 1, п. /п 42), в котором половина октаэдров занята Mn, а другая половина — $Ca_{2.1}$ и $REE_{0.90}$, и «эвдиалит с упорядоче-

нием натрия и марганца» (Расцветаева, Хомяков, 2000₁) (табл. 1, п. /п 43), где $M(1a) = Mn_{2.1}Ca_{0.72}Ce_{0.18}$ и $M(1b) = Na_{1.35}Ca_{1.05}Ce_{0.45}Sr_{0.15}$.

Таким образом, и второй основной компонент каркаса эвдиалита — кальций может замещаться, в частности марганцем, железом и натрием. Возвращаясь к цирконию, отметим, что в случае избыточных его концентраций — он прекрасно находит себе место в структуре, помимо Zr-октаэдров (Расцветаева, Борущкий, 1990; Johnsen et al., 1999₁; Екименкова и др., 2000₃). В «гиперциркониевом эвдиалите» (Расцветаева, Хомяков, 2000₂) (табл. 1, п/п 38), с геологическим положением и химическим анализом которого авторы нас почему-то не

¹⁶ — Интересно, что в данном минерале всё Fe «перекочевало» в октаэдры 6-членного кольца, а его место в «квадратах» M(2,4) занял избыточный Zr в компании с Mn и Na в 5-вершинниках. Аналогичная необычная 4-ая координация была установлена в высокотемпературном эвдиалите из Бразилии (табл. 1, п/п 37) (Расцветаева и др., 2003).

знакомят, Zr практически полностью вытесняет Fe из его позиции, образуя октаэдры на базе «железного» квадрата. При этом Са-октаэдры 6-членного кольца более чем наполовину замещаются ансамблем Mn, Fe, Na, Ce и Sr (рис. 6).

Отметим также, что, несмотря на снижение симметрии до $R3m$ и $R3$, последние минералы являются *собственно эвдиалитами*, то есть образование *МПСПС* — привилегия не только эвколитов. Как *МПСПС*, *собственно эвдиалиты* обнаруживают еще большее разнообразие. Особое внимание привлекают модулярные структуры. Они детально охарактеризованы кристаллохимически, но не получили объяснения с генетических позиций. А.П. Хомяков, имея в виду, по-видимому, их громоздкость, сравнивает данные образования с молекулами ДНК, открывая «новую главу» в «эвдиалитологии». Но ничем другим эти образования не напоминают ДНК — ни скрученностью молекулы, ни содержащейся в них генетической информацией.

В модулярной структуре *высококалиевого эвдиалита* с удвоенным периодом c — будущего *расцветаевита* (табл. 1, п/п 46) исследователи (Расцветаева, Хомяков, 2001₂; Хомяков и др., 2006₁) выделили три модуля: «эвдиалитовый», «аллуайвитовый» и «барсановит-кентбрукситовый», хотя в дальнейшем рассматривали только два первых. Наличие признаков эвколита с симметрией $R3m$ в данном случае понятны, так как изучался один из *калиевых эвдиалитов* из комплекса ринчорритов Хибинского массива. Условия образования таких эвдиалитов детально описаны О.А. Агеевой (Агеева, 1999; 2002; Агеева и др., 2002₁), показавшей, что они возникают при К-метасоматозе, путем замещения первичных эвдиалит-эвколитов, а на поздней стадии этого процесса замещаются *калий-оксониевым эвдиалитом*, и затем распадаются с образованием вадеита и циркона. Выделение «аллуайвитового» модуля, по нашему мнению, не совсем удачно, так как термин аллуайвит прочно связан с представлением о титановом аналоге эвдиалита, а в данном случае единственным «аллуайвитовым» признаком является замещение Fe и Mn в «железной» позиции Na-полиэдрами, что отмечалось в эвдиалитах и вне связи с аллуайвитовыми модулями (Расцветаева, Андрианов, 1987; Расцветаева, Боруцкий, 1988; Расцветаева, Хомяков, 2000; 2000₁; 2000₂; Екименкова и др., 2000₄). Для высококалиевых эвдиалитов, очевидно, более существенным является объяснение возможности вхождения в структуру натриевого минерала крупных ионов калия. По аналогии со сказанным выше по поводу дуалита, можно предполагать, что мы и здесь имеем дело с блоковым изоморфизмом, то есть с изменением эвдиалита. Образующиеся при этом варианты калиевых эвдиалитов, по-видимому, не менее разнообразны, чем титановых, и сводить их формальную диагностику только к расцветаевиту было бы рискованно.

В модулированной структуре *высоконатриевого эвдиалита* с удвоенным c -периодом и симметрией $R3$ — будущем *лабиринтите* (Расцветаева, Хомяков, 2001₃; Хомяков и др., 2006₂) (табл. 1, п/п 45) также выделяют эвдиалитовый (вместе с кентбрукситовым) и аллуайвитовый чередующиеся

модули, причем в аллуайвитовом модуле, насыщенном уже не калием, а натрием, обнаруживаются вблизи «железных позиций» три Na-полиэдра: два 7-вершинника Na(12) и Na(13) и Na(11) в «квадратной» координации, заселенные из-за их сближенности, статистически. То есть аллуайвитовый модуль еще больше отделяется от прототипа. На помощь к ним неожиданно пришел титан, но в составе эвдиалитового, а не аллуайвитового модуля, в котором «дополнительный» Ti центрирует 9-членное кремнекислородное кольцо, полностью занимая позицию M(3) (Ti-доминантный аналог барсановита или кентбруксита). Это позволяет им рассматривать лабиринтит еще и как «*титановый эвдиалит*».

В ходе гидротермального изменения образуются *гидроэвдиалиты*. При этом наблюдается выщелачивание ряда компонентов, главным образом натрия, и гидратация. Компенсация зарядов требует вхождения воды в виде ионов H_3O^+ . Структурно изучены: «*калий-оксониевый эвдиалит*»- $R3m$ с Расвумчорра (Хибины) (Соколова и др., 1991; Расцветаева и др., 1990₂), натриевый «*оксониевый эвдиалит*»- $R3m$ с Карнасурта (Ловозеро) (Екименкова и др., 2000₄; Чуканов и др., 2003; Расцветаева, Чуканов, 2003) «*Na,Fe-гексатионированный эвдиалит*»- $R3$ из Инагли (Южн. Якутия) (Расцветаева, Хомяков, 2002) (табл. 1, п/п 47 — 49). Два последних уже утверждены в качестве самостоятельных «новых» минералов — еще две «овечки Доли»: *украинит* (в честь Института кристаллографии РАН) и *аквалит*. Несколько выщелоченных и гидратированных эвдиалитов изучено К.А. Розенберг с соавторами (Rozenberg *et al.*, 2004), и вхождение в них именно иона-оксония доказано методом расчета баланса валентности. Ион H_3O^+ обычно занимает место натрия в просторных позициях $N(1-4)$: в $N(2)$ и $N(3)$ во всех исследованных эвдиалитах, в $N(1)$ и $N(4)$ в большинстве, тогда как в позициях $N(5)$, $N(6)$ и $N(7)$ оксоний сосуществует с (ОН)-группами и H_2O , координирующими дополнительные M(3)- и M(4)-катионы в кольцах $[Si_9O_{27}]$, и его содержание коррелируется со степенью занятости этих позиций. Например, в икраните, который можно рассматривать как заключительную стадию гидротермального изменения эвдиалита, 9-членные кольца вообще свободны от дополнительных катионов, в «железной» позиции найдено Fe^{3+} в виде октаэдра (что указывает на его окисление в данном процессе), а ион H_3O^+ установлен в восьми позициях. В аквалите почти весь натрий замещен на оксоний. Если вернуться к проблеме видообразования, то «видообразующими» признаками в данном случае служат «дырки» от замещенных катионов первичного эвдиалита, то есть мы систематизируем «овечек» по «вырванным клокам шерсти».

Эвдиалит, как *МПСПС*, продолжает и дальше удивлять возможными вариациями состава. Найдены S-содержащие разновидности «*титановых эвдиалитов*» (Агеева и др., 2002₁; 2002₂), «*гиперциркониевый сульфатный аналог эвдиалита*» (Расцветаева и др., 2006), «*Nb-гефидициный карбонатный аналог фекличевита*» (Розенберг и др., 2005₂) и другие (Расцветаева, 2007).

Выводы

1. Выделение самостоятельных минеральных видов должно основываться не на поиске каких-либо различий между минеральными индивидами, а на обособлении их в *естественные совокупности*, занимающие определенное место в геолого-геохимических процессах, с анализом вариаций химического состава и видоизменений кристаллической структуры при изменении условий минералообразующей, а затем и минералосохраняющей среды.

2. Критерием самостоятельности минерального вида является наличие единого *поля стабильности*, внутри которого возможны только постепенные изменения химического состава минерала и структурных его особенностей, не приводящие к фазовым переходам или распаду на фазы, или к нарушению структурного типа. В соответствии с этим непрерывный изоморфный ряд (в конкретных физико-химических условиях) рассматривается, как единый минеральный вид, а фазы распада или возникшие в результате фазовых переходов (также в конкретных условиях) — как отдельные самостоятельные минеральные виды.

3. Кристаллохимические критерии, рекомендуемые КНМНК ММА при утверждении самостоятельных минеральных видов, в частности, «правило доминантности», тем более в отдельных структурно-неэквивалентных позициях, являются *формальными, генетически не обоснованными*, не учитывающими значения компонентов, занимающих эти позиции, для химической индивидуальности минерала в геохимических процессах, не подразделяющими их на существенные и второстепенные, не анализирующие причины изменения структурных характеристик (симметрии, параметров ячейки, сверхструктурных отражений). Выделенные на их основании виды оторваны от конкретных геологических процессов и не находят применения в геологии, бесполезны для анализа условий минералообразования. До получения надежных генетических данных зарегистрированные таким способом виды логичнее рассматривать как *химические, структурные и структурно-химические разновидности*, как исходный материал для дальнейшего научного анализа, а не как конечное высшее достижение минералогии.

4. Эвдиалит является ярким примером *минералов переменного состава с переменной структурой*. Их образование особое явление в минералогии, суть которого состоит в возможности в многокомпонентной природной системе образовывать соединения с вхождением большого числа изоморфных примесей разного состава, с разными размерами атомов и зарядами, в подходящие позиции структуры с частичной их перестройкой — смещением координат, изменением координационных многогранников, расщеплением позиций на несколько «подпозиций» с неполным статистическим их заселением. Отсутствие данных о наличии обособленных полей стабильности для отдельных индивидов с различающимся составом

микропримесей или отклонениями в симметрии позволяют рассматривать эвдиалит как *один минеральный вид*.

5. Необходимо возвращение к замалчиваемому термину *эвколит*. Подмена обобщающего термина *эвколит* более частными терминами — *кентбруксит, георгбарсановит* — и введение вместо *эвдиалит-эвколитового ряда эвдиалит-кентбрукситового, эвдиалит-барсановитового или эвдиалит-георгбарсановитового рядов* является актом неуважения к предшественникам, внесшим огромный вклад в изучение эвдиалитовой проблемы. Эвдиалит-эвколитовый ряд не может быть сведен к двойному, тройному, четверному и т.д. изоморфным рядам, так как замещения происходят между многими компонентами: синхронно, распределяясь в тех или иных подходящих структурных позициях. Логичнее рассматривать *кентбруксит, барсановит* и им подобные «новые» минералы как *разновидности эвколита* с применением «рациональной» систематики: «CaMnNbF-эвколит», «CaFeNbCl-эвколит» и т.п. Интенсивное разномножение числа минеральных видов в, так называемой, группе эвдиалита является попыткой свести номенклатуру и систематизацию к формальным структурным и структурно-химическим изменениям в кристаллической решетке, оторванным от проявленных в природе процессов и закономерностей распространения минералов в конкретных геологических обстановках.

6. Титановый аналог эвдиалита — *аллуайвит* является *самостоятельным минеральным видом*, поскольку соответствует крайнему члену изоморфного ряда эвдиалит-аллуайвит, отражающему *существенные замещения* между главными компонентами в каркасе структуры Zr и Ti (что позволяет относить их к разным типам силикатов — цирконосиликатам, титаносиликатам) и надежно обоснован генетически. Но одновременно с ним в природе существует другой минеральный вид — «*Ti-эвдиалит*», соответствующий всему непрерывному изоморфному ряду между эвдиалитом и аллуайвитом, члены которого образуются в результате последовательного замещения метасоматическим путем, благодаря специфическим особенностям цеолитоподобной эвдиалитовой структуры, способной к низкотемпературным ионно-обменным замещениям.

7. Фантастические успехи структурного анализа в изучении эвдиалита превратили этот редкий минерал щелочных комплексов в один из самых интересных объектов минералогии, дали структурное понимание уникальному природному явлению — возможности образования логически невыгодных, но энергетически устойчивых *минералов переменного состава с переменной структурой*, способных чутко реагировать на изменение условий в минералообразующей и минералосохраняющей среде. Автор надеется, что «номенклатурные игры», захватившие в последнее время минералогическую науку, сменятся детальным изучением данного явления с применением физико-химического анализа, что позволит выделить реальные, генетически обоснованные минеральные виды эвдиалитов.

Литература

- Агеева О.А. Изменение эвдиалита в процессе калиевого метасоматоза (Хибинский массив) // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. Тез. докл. СПб.: 1999. С. 201–202.
- Агеева О.А. Типоморфизм акцессорных минералов и эволюция минералообразования в породах комплекса рисчорритов (Хибинский массив). Дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук. М.: ИГЕМ РАН. 2002. 180 с.
- Агеева О.А., Боруцкий Б.Е., Хангулов В.В. Эвдиалит как минералого-геохимический индикатор метасоматических процессов при формировании пород комплекса пойкилитовых нефелиновых сиенитов Хибинского массива // Геохимия. 2002. № 10. С. 1098–1105.
- Агеева О.А., Боруцкий Б.Е., Чуканов Н.В., Соколова М.Н. Аллуайит и генетический аспект образования обогащенных титаном эвдиалитов в Хибинском массиве // ЗВМО. 2002. № 1. С. 99–106.
- Бокш Г.Б. Систематика природных силикатов. Итоги науки и техники. Сер. Кристаллохимия. Т. 31. М.: ВИНТИ, ЗАО «АСТР-КОСМОСИНОФОРМ», 1997. 192 с.
- Болдырев А.К. Курс оптической минералогии. Вып. 1. Л.: НХТИ НТО ВСНХ. 1926. 261 с.
- Борнеман-Старынкевич И.Д. Изоморфные замещения в некоторых титано-силикатах и фосфатах. Дис. на соиск. учен. степ. доктора геол.-мин. наук. М.: ИГН. 1945. 87 с.
- Борнеман-Старынкевич И.Д. Эвдиалит // Изоморфизм в минералах. М.: Наука, 1975. С. 187–199.
- Боруцкий Б.Е. Некоторые аспекты проблемы типоморфизма минералов (по опыту изучения минералов агапитовых нефелиновых сиенитов) // Типоморфизм минералов и минеральных ассоциаций. (Материалы III совещания по типоморфизму минералов. Опалиха, 1–3 ноября 1983 г.) М.: Наука. 1986. С. 116–124.
- Боруцкий Б.Е. Типоморфизм минералов высокощелочных магматических комплексов. Дис. на соиск. учен. степ. доктора геол.-мин. наук, в виде научно-го доклада. М.: ИГЕМ. 1997. 119 с.
- Боруцкий Б.Е. О минералах переменного состава с переменной структурой // Тезисы докладов к IX съезду Минералогического общества при РАН, посвященному 275-летию Российской Академии Наук. СПб. 1999. С. 201.
- Боруцкий Б.Е. Очерки по фундаментальной и генетической минералогии: 1. Что же такое «минерал» и «минеральный вид»? // Новые данные о минералах. М.: ЭКОСТ, 2005. Вып. 40. С. 159–166.
- Боруцкий Б.Е. Очерки по фундаментальной и генетической минералогии: 2. Опыт разработки «естественно-генетической» классификации минералов (на примере систематики полевых шпатов) // Новые данные о минералах. М.: ЭКОСТ, 2006. Вып. 41. С. 162–171.
- Боруцкий Б.Е. Фундаментальные проблемы древнейшей науки // Природа. 2007. № 2, С. 5–14.
- Боруцкий Б.Е., Органова Н.И., Рудницкая Е.С. О месте барсановита в эвдиалит-эвколитовом изоморфном ряду // ЗВМО. 1968. Часть 97. № 4. С. 451–460.
- Боруцкий Б.Е., Урусов В.С. Нарушения принципа «Бритвы Оккама» в современной минералогии // Природа. 2008. № 6. С. 21–32.
- Булах А.Г. Химические, структурные и химико-структурные разновидности минералов // ЗВМО. 2004. Ч. 133. № 5. С. 1–9.
- Булах А.Г., Петров Т.Г. Химическое разнообразие минералов группы эвдиалита, их ранговые формулы и химико-структурные разновидности минеральных видов // ЗВМО. 2003. Ч. 132. № 4. С. 1–17.
- Гольшев В.М., Симонов В.И., Белов Н.В. О кристаллической структуре эвдиалита // Кристаллография. 1971. Т. 16. № 1. С. 93–98.
- Гольшев В.М., Симонов В.И., Белов Н.В. Кристаллическая структура эвдиалита // Кристаллография. 1972. Т. 17. Вып. 6. С. 1119–1123.
- Дорфман М.Д. Минералогия пегматитов и зон выветривания в ийолит-ургитах горы Юкспор Хибинского массива. Изд. АН СССР. 1962. 168 с.
- Дорфман М.Д., Илюхин В.В., Бурова Т.А. Барсановит — новый минерал // Докл. АН СССР. 1963. Т. 153. № 5. С. 1164–1167.
- Дорфман М.Д., Илюхин В.В., Бурова Т.А. Новые данные о барсановите // Новые данные о минералах СССР. 1965. Вып. 16. С. 219–224.
- Екименкова И.А., Расцветаева Р.К., Хомяков А.П. Уточнение кристаллической структуры Fe, Sr-аналога кентбруксита // Кристаллография. 2000. Т. 45. № 6. С. 1010–1013.
- Екименкова И.А., Расцветаева Р.К., Хомяков А.П. Кристаллическая структура Fe, Cl-аналога кентбруксита // Докл. АН. Сер. химия. 2000. Т. 370. № 4. С. 477–480.
- Екименкова И.А., Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В. Упорядочение кальция и железа в минерале группы эвдиалита с симметрией R3 // Докл. АН. 2000. Т. 374. № 3. С. 352–355.
- Екименкова И.А., Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В. Кристаллическая структура оксоний-содержащего аналога эвдиалита // Докл. АН. Сер. химия. 2000. Т. 371. № 5. С. 65–69.
- Лазаренко Е.К. Основы генетической минералогии. Львов: Изд.-во Львовск. ун-та. 1963. 410 с.
- Когарко Л.Н., Кригман Л.Д., Лазуткина Л.Н. Магматическая кристаллизация эвдиалита в системе нефелин — эвдиалит // Докл. АН СССР. 1980. Т. 255. № 1. С. 170–173.
- Когарко Л.Н., Кригман Л.Д., Лазуткина Л.Н. Фазовые равновесия в системе эвдиалит — нефелин // Геохимия. 1981. № 2. С. 233–241.
- Косылева Е.Е. Изоморфный эвдиалито-эвколитовый ряд из Хибинских и Ловозерских тундр // Тр. Минерал. музея АН СССР, 1929. Т. 3. С. 169–222.
- Косылева Е.Е. Цирконосиликаты. // Минералогия Союза. Серия А. Вып. 6. Изд.-во АН СССР. 1936. С. 6–35.
- Кравченко С.М., Проценко Е.Г. Акцессорный эвколит из пегматитов Сыньнерского массива (Северное Прибайкалье) // Минер. Сб. Львов. 1966. № 20, вып. 2. С. 291–293.
- Кристаллохимическая систематика минералов. / Ред. проф. В.С. Урусов. М.: Изд.-во МГУ. 1985. 201 с.
- Минералы. Справочник. Т. 5 — Каркасные силикаты. Вып. 1 — Силикаты с разорванными каркасами. Полевые шпаты. / Ред. Г.Б. Бокш и Б.Е. Боруцкий. М.: Наука. 2003. 583 с.
- Минералы Хибинских и Ловозерских тундр. / Под ред. акад. А.Е. Ферсмана, проф. Н.А. Смольянинова и Э.М. Бонштедт. М., Л.: Изд. АН СССР. 1937. 563 с.
- Минералогия Хибинского массива. / Под ред. Ф.В. Чухрова. Т. 2 — Минералы. М.: Наука. 1978. 586 с.
- Пеков И.В., Екименкова И.А., Чуканов Н.В., Расцветаева Р.К., Кононова Н.Н., Пекова Н.А., Загов А.Е. Фелличевит $\text{Na}_{11}\text{Ca}_9(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Zr}_3\text{Nb}[\text{Si}_{25}\text{O}_{73}](\text{OH}, \text{H}_2\text{O}, \text{Cl}, \text{O})_5$, новый минерал эвдиалитовой группы из Ковдорского массива, Кольский полуостров // ЗВМО. 2001. Т. 130. № 3. С. 55–65.

- Расцветоваева Р.К.* Сравнительная кристаллохимия изоморфизма эвдиалитовых серий // Структурная кристаллография (современные проблемы кристаллографии, к 100-летию Н.В. Белова). М.: Наука. **1992**. С. 204–220.
- Расцветоваева Р.К.* Вид и разновидность (Минералогическая сказка) // Новые данные о минералах. М.: ЭКОСТ, **2006**. Вып. 41. С. 154–157.
- Расцветоваева Р.К.* Структурная минералогия группы эвдиалита. Обзор // Кристаллография. **2007**. Т. 52. № 1. С. 50–67.
- Расцветоваева Р.К., Андрианов В.И.* Новые данные о кристаллической структуре эвдиалита // Докл. АН СССР. **1987**. Т. 293. № 5. С. 1122–1126.
- Расцветоваева Р.К., Боруцкий Б.Е.* Кристаллические особенности эвдиалита в свете новых структурных данных // Минералог. журн. **1988**. Т. 10. № 1. С. 48–57.
- Расцветоваева Р.К., Боруцкий Б.Е.* Структурные особенности TR-Fe и TR-Mn эвколитов // Минералог. журн. **1990**. Т. 12. № 4. С. 81–88.
- Расцветоваева Р.К., Боруцкий Б.Е., Гусев А.И.* Кристаллическая структура эвколита // Кристаллография, **1988**. Т. 33. № 2. С. 207–210.
- Расцветоваева Р.К., Екименкова И.А., Пеков И.В.* Кристаллическая структура нового высококальциевого аналога эвдиалита // Докл. РАН. **1999**. Т. 368. № 5. С. 636–638.
- Расцветоваева Р.К., Пушаровский Д.Ю., Ямнова Н.А., Боруцкий Б.Е.* Кристаллическая структура «красно-бурого барсановита» и его положение в изоморфном ряду эвдиалит-эвколит-барсановит // Сравнительная кристаллохимия. М.: Изд-во МГУ. **1987**. С. 153–162.
- Расцветоваева Р.К., Разманова З.П., Боруцкий Б.Е., Дорфман М.Д.* Особенности кристаллического строения барсановита – разновидности эвдиалита // ЗВМО. **1990**. Т. 119. Вып. 3. С. 65–72.
- Расцветоваева Р.К., Соколова М.Н., Боруцкий Б.Е.* Кристаллическая структура калиево-оксониевого эвдиалита // Кристаллография. **1990**. Т. 35. Вып. 6. С. 1381–1387.
- Расцветоваева Р.К., Хомяков А.П.* Кристаллическая структура низкожелезистого аналога эвдиалита // Докл. АН. Сер. химия. **1998**. Т. 362. № 6. С. 784–788.
- Расцветоваева Р.К., Хомяков А.П.* Кристаллическая структура нового Mn,Na-упорядоченного аналога эвдиалита с симметрией R3 // Кристаллография. **2001**. Т. 45. № 4. С. 649–652.
- Расцветоваева Р.К., Хомяков А.П.* Кристаллическая структура гиперциркониевого аналога эвдиалита // Кристаллография. **2000**. Т. 45. № 2. С. 251–253.
- Расцветоваева Р.К., Хомяков А.П.* Особенности упорядочения катионов в минералах группы эвдиалита // Изв. Академии Наук, сер. физич. **2001**. Т. 65. № 6. С. 831–834.
- Расцветоваева Р.К., Хомяков А.П.* Модулярная структура высококальциевого аналога эвдиалита с удвоенным периодом с // Кристаллография. **2001**. Т. 40. № 4. С. 715–721.
- Расцветоваева Р.К., Хомяков А.П.* Модулярная структура высоконатриевого аналога эвдиалита с удвоенным с-периодом и симметрией R3 // Кристаллография. **2001**. Т. 46. № 5. С. 827–832.
- Расцветоваева Р.К., Хомяков А.П.* Особенности структуры Na,Fe-декатонированного эвдиалита с симметрией R3 // Кристаллография. **2002**. Т. 47. № 2. С. 267–271.
- Расцветоваева Р.К., Хомяков А.П.* Кристаллическая структура K-аналога кентбруксита // Докл. РАН. **2005**. Т. 405. № 5. С. 636–639.
- Расцветоваева Р.К., Хомяков А.П., Андрианов В.И., Гусев А.И.* Кристаллическая структура алдайвита // Докл. АН СССР. **1990**. Т. 321. Вып. 6. С. 1379–1383.
- Расцветоваева Р.К., Хомяков А.П., Некрасов Ю.В.* Кристаллическая структура нового аналога эвдиалита с симметрией R3 // Кристаллография. **1999**. Т. 44. № 5. С. 824–828.
- Расцветоваева Р.К., Чуканов Н.В.* Икранит: особенности состава и строения нового минерала группы эвдиалита // Кристаллография. **2003**. Т. 48. № 5. С. 775–778.
- Расцветоваева Р.К., Чуканов Н.В.* Минеральный вид или минеральная разновидность? // Новые данные о минералах. М.: ЭКОСТ, **2006**. Вып. 41. С. 172–183.
- Расцветоваева Р.К., Чуканов Н.В., Верин И.А.* Кристаллическая структура гиперциркониевого сульфатного аналога эвдиалита // Докл. РАН. **2006**. Т. 409. № 6. С. 807.
- Расцветоваева Р.К., Чуканов Н.В., Меккель Ш.* Структурные особенности высокотанталовой разновидности эвдиалита из Бразилии // Кристаллография. **2003**. Т. 48. № 2. С. 250–255.
- Розенберг К.А., Расцветоваева Р.К., Чуканов Н.В., Верин И.А.* Кристаллическая структура голышевита // Кристаллография. **2005**. Т. 50. № 4. С. 637–641.
- Розенберг К.А., Расцветоваева Р.К., Чуканов Н.В., Верин И.А.* Кристаллическая структура ниобийдефицитного карбонатного аналога фекличевита // Докл. РАН. **2005**. Т. 400. № 5. С. 640–644.
- Свешникова Е.В., Бурова Т.А.* Минералы группы эвдиалита и катаплеит из нефелиновых сиенитов Енисейского края // Новые данные о минералах СССР. М.: Наука. **1965**. С. 187–197 (Тр. Минерал. музея им. А.Е.Ферсмана, вып. 16).
- Соколова М.Н., Боруцкий Б.Е., Архипенко Д.К., Расцветоваева Р.К., Власова Е.В.* О калиево-оксониевом эвдиалите из Хибин, Кольский полуостров // Докл. АН СССР. **1991**. Т. 318. № 3. С. 712–716.
- Фекличев В.Г.* Оптические свойства хибинских и других эвдиалитов // Редкие элементы и аксессуарные минералы в ультраосновных, щелочных и кислых породах. М.: Изд-во АН СССР. **1963**. (Тр. ИМГРЭ Вып. 15). С. 121–135.
- Фекличев В.Г.* О химическом составе и химической формуле хибинских и других эвдиалитов // Экспериментально-методические исследования рудных минералов. М.: Наука. **1965**. С. 195–213.
- Фекличев В.Г.* Материалы по химическому типоморфизму хибинских эвдиалитов // Исследования в области рудной минералогии М.: Наука. **1973**. С. 119–132.
- Фекличев В.Г.* Исследование взаимозависимостей состава и свойств у минералов группы эвдиалита // Новые данные о минералах СССР. М.: Наука. **1979**. Вып. 28. С. 126–144.
- Фекличев В.Г., Разина И.С., Катаева З.Т.* Типы эвдиалитов в Хибинском щелочном массиве // Экспериментально-методические исследования рудных минералов. М.: Наука. **1965**. С. 188–194.
- Ферсман А.Е.* Соединения переменного состава в земной коре // Сб. в честь 25-летия научной деятельности В.И.Вернадского. М.: 1914. С. 271–288. (Избр. труды. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР. **1952**. С. 775–785).
- Ферсман А.Е.* О числе минеральных видов // Докл. АН СССР. **1938**. Т. 19. № 4. С. 271–274. (Избр. труды. М.: Изд-во АН СССР, **1952**. Т. 1. С. 846–849).
- Ферсман А.Е.* Успехи минералогии и геохимии за 25 лет Советской науки (1943) // Первые опубликовано в Избр. труды. М.: Изд-во АН СССР, **1959**. Т. 5. С. 836–850.
- Хомяков А.П., Дусматов В.Д., Черепивская Г.Е.* Эвколит из парагенезиса с кварцем // Докл. АН СССР. **1975**. Т. 224. № 5. С. 1159–1162.
- Хомяков А.П., Дусматов В.Д., Феррарис Дж., Гула А., Ивальди Г., Нечелюстов Г.Н.* Цирслит-(Ce)

- (Na,□)₁₂(Ce,Na)₃Ca₆Mn₂Zr₃Nb(Si₂₅O₇₃)(OH)₃(CO₃)•H₂O и карбоксентогурцит (Na,□)₁₂(Na,Ce)₃Ca₆Mn₂Zr₃Nb(Si₂₅O₇₃)(OH)₃(CO₃)•H₂O — новые минералы группы эвдиалита из щелочного массива Дара-и-Пиоз, Таджикистан // ЗВМО. 2003. Т. 132. № 5. С. 40–51.
- Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Расцветаева Р.К. Аллуайт, Na₁₉(Ca,Mn)₆(Ti,Nb)₃Si₂₆O₇₄Cl₁•2H₂O — новый титаносиликат с эвдиалитоподобной структурой // ЗВМО. 1990. Вып. 1. С. 117–120.
- Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Екименкова И.А., Расцветаева Р.К. Георгбарсановит Na₁₂(Mn,Sr,REE)₃Ca₆Fe²⁺₃Zr₃NbSi₂₅O₇₆Cl₂•H₂O — минеральный вид группы эвдиалита: реабилитация барсановита и новое название минерала // ЗРМО. 2005. № 6. С. 47–57.
- Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Аракчеева А.В. Расцветаевит, Na₂₇K₆Ca₁₂Fe₃Zr₆Si₄[Si₃O₉]₄ × [Si₉O₂₇]₄(O,OH,H₂O)₆Cl₂ — новый минерал с модулярной эвдиалитоподобной структурой и кристаллохимическая систематика группы эвдиалита // ЗРМО. 2006. № 1. С. 49–65.
- Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Расцветаева Р.К. Лабиринтит, (Na,K,Sr)₃₅Ca₁₂Fe₃Zr₆TiSi₅₁O₁₄₄(O,OH,H₂O)₉Cl₃ — новый минерал с модулярной эвдиалитоподобной структурой из Хибинского щелочного массива, Кольской полуостров, Россия // ЗРМО. 2006. № 2. С. 38–49.
- Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Расцветаева Р.К. Дуалит, Na₃₀(Ca,Na,Ce,Sr)₁₂(Na,Mn,Fe,Ti)₆Zr₃Ti₃MnSi₅₁O₁₄₄(OH,H₂O,Cl)₉ — новый цирконо-титаносиликат с модулярной эвдиалитоподобной структурой из Ловозерского щелочного массива, Кольский полуостров, Россия // ЗРМО. 2007. Ч. 136. № 4. С. 31–42.
- Хомяков А.П., Расцветаева Р.К. Как мы потеряли барсановит и обрели георгбарсановит // Природа. 2005. № 12. С. 25–28.
- Чуканов Н.В., Моисеев М.М., Расцветаева Р.К., Розенберг К.А., Загов А.Е., Пеков И.В., Коровушкин В.В. Гольшевит (Na,Ca)₁₀Ca₆(Fe³⁺,Fe²⁺)₂Zr₃NbSi₂₅O₇₃(CO₃)(OH)₃•H₂O и моговидит Na₆(Ca,Na)₆Ca₆(Fe³⁺,Fe²⁺)₂Zr₃□Si₂₅O₇₂(CO₃)(OH,H₂O)₄ — новые минералы группы эвдиалита из высококальциевых аргайтовых пегматитов Ковдорского массива, Кольский полуостров // ЗРМО. 2005. № 6. С. 36–46.
- Чуканов Н.В., Пеков И.В., Загов А.Е., Коровушкин В.В., Екименкова И.А., Расцветаева Р.К. Икранит (Na,H₂O)₁₅(Ca,Mn,REE)₆Fe³⁺₃Zr₃(□,Zr)(□□,Si)Si₂₅O₆₆(O,OH)₆Cl₁•nH₂O и раслакит Na₁₅Ca₃Fe₃(Na,Zr)₃Zr₃(Si,Nb)(Si₂₅O₇₃)(OH,H₂O)₃(Cl,OH) — новые минералы группы эвдиалита из Ловозерского массива, Кольский полуостров // ЗВМО 2003. Часть 132, № 5. С. 22–33.
- Bollingberg H.J., Ure A.M., Sorensen I., Leonardsen E.S. Geochemistry of Some Eudialyte-Eucolite Specimens and a Co-Existing Catapleite from Langesund, Norway // Tschermaks Min. Petr. Mitt. 1983. Bd. 32. S. 153–169.
- Brägger W.C. Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der süd-norwegischen Augit- und Nephelinsyenite // Ztschr. Kristallogr. 1890. Bd. 16. 633 s.
- Bulakh A.G., Petrov T.G. Chemical variability of eudialyte-group minerals and their sorting // Neues Jahrb. Mineral., Monatsh. 2004. H. 3. S. 127–144.
- Christophe-Michel-Lévy M. Reproduction artificielle de quelques minéraux riches en zirconium (zircon, eudialyte, catapleite, elpidite); comparaison avec leurs conditions naturelles de formation. // Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr. 1961. T. 84. P. 265–269.
- Dawson J.B., Frisch T. Eucolite from Oldoinyo Lengai, Tanzania // Litos. 1971. № 4. P. 297–303.
- Ferraris G., Belluso E., Gula A., Soboleva S.V., Ageeva O.A., Borutskii B.E. A structural model of the layer titanate bornemanite based on seidozerite and lomonosovite modules // Canad. Miner. 2001. P. 1665–1673.
- Giuseppetti G., Mazzi F., Tadini C. The crystal structure of eudialyte // C. Rend. Soc. min. Ital. 1970. V. 26. Fasc. P. 856.
- Giuseppetti G., Mazzi F., Tadini C. The crystal structure of eudialyte // Tschermaks Mineral. Petrol. Mitt., 1971. Bd. 16. H. 1/2. S.105–127.
- Gossner B., Mussngug F. Über die strukturelle und molekulare Einheit von Eudialyt // Zbl. Mineral., Geol., und Paläontol., Abt. 1930. A. № 3. S. 81–88.
- Johnsen O., Ferraris G., Gault R.A., Grice J.D., Kampf A.R., Pekov I.V. The nomenclature of eudialyte-group minerals // Canad. Mineral. 2003. V. 41. pt. 3. P. 785–794.
- Johnsen O., Gault R. A. Chemical variation in eudialyte // Neues Jahrb. Mineral. Abh. 1997. Bd. 171. H. 3. S. 215–237.
- Johnsen O., Grice J.D. The crystal chemistry of the eudialyte group // Canad. Miner. 1999. Vol. 37. Part 4. P. 865–891.
- Johnsen O., Grice J.D., Gault R.A. Kentbrooks site from the Kangerdlugssuaq intrusion, East Greenland, a new Mn-REE-Nb-F end-member in a series within the eudialyte group: Description and crystal structure // Eur. J. Mineral., 1998. Vol. 10. № 2. P.207–219.
- Johnsen O., Grice J.D., Gault R.A. Oneillite: a new Ca-deficient and REE-rich member of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada // Canad. Miner. 1999. Vol. 37. № 4. P. 1111–1117.
- Johnsen O., Gault R.A., Grice J.D. Ferrokent-brooks site, a new member of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec // Canad. Miner. 2003. Vol. 41. P. 55–60.
- Johnsen O., Gault R.A., Grice J.D., Ercit T.S. Khomeakovite and mangankhomeakovite, two new members of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec // Canad. Miner. 1999. Vol. 37. P. 893–899.
- Khomyakov A.P. Crystal chemical systematics of the eudialyte-group minerals // 32nd Intern. Geol. Congr. Florence-Italy. 2004. P. 309–310.
- Minerals of the Khibina and Lovozero tundras. Eds. A.E.Fersman and E.M.Bohnstedt. M., L.: Academy of sciences press. 1937. 152 p.
- Nemeth P., Ferraris G., Radnóczi G., Ageeva O.A. TEM and X-ray study of syntactical intergrowths of epistolite, murmanite and shkatulkalite // Canad. Miner. 2005. V. 43. P. 973–987.
- Nickel E.H. Solid solutions in mineral nomenclature // Canad. Miner., 1992. Vol. 30. P. 231–234.
- Organova N.I., Krivovichev S.V., Zolotarev A.A., Shlyukova Z.V. On the inhomogeneities in the structures of labuntsovite-group minerals // Minerals as Advanced Materials. I. Ed. S.V.Krivovichev. 2007. P. 72–77.
- Petersen O.V., Johnsen O., Gault R.A., Niedermayr G., Grice J.D. Taseqite, a new member of the eudialyte group from the Ilimaussaq alkaline complex, South Greenland // Neues Jahrb. Mineral., Monatsh. 2004. P. 83–96.
- Pol'shin E.V., Platonov A.N., Borutsky B.E., Taran M.N., Rastsvetaeva R.K. Optical and Mössbauer Study of Minerals of the Eudialyte Group // Physics and Chemistry of Minerals. 1991. T. 18. S. 117–125.
- Ramsay W. Ueber die Eudialyt von der Halbinsel Kola // Neues Jahrb. Mineral. 1893. Beil. Bd. 8. S. 722–730.
- Rastsvetaeva R.K., Khomyakov A.P., Chapuis G. Crystal structure and crystal-chemical features of new Ti-rich member of the eudialyte family.// Zeitschrift für Kristallogr. 1999. Vol. 214. P. 271–278.
- Rozenberg K.A., Rastsvetaeva R.K., Kho-myakov A.P. Decationized and hydrated eudialytes, oxonium problem // Micro- and mesoporous mineral phases. Roma. 2004. P. 285–289.