

ЧЕМПИОН МИНЕРАЛЬНОГО МИРА

Расцветаева Рамиза Кераровна – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт». Автор открытия 86 минеральных видов. Сайт «Популярная минералогия» <http://rascrystal.ru>

Из статьи в предыдущем сборнике вы узнали, что минерал – кристаллическое химическое соединение природного происхождения. Сейчас выделяют отдельную науку – минералогию, которая изучает химический состав минералов, их физические свойства, а также условия их образования. Вы знаете также, что минералы могут состоять из одного, двух, трех и более элементов таблицы Менделеева. Среди известных в настоящее время около 6000 минералов к числу наиболее сложных по составу относится цирконосиликат **эвдиалит**. Впервые он был описан свыше 200 лет назад в Гренландии, но до сих пор продолжает привлекать внимание исследователей. Эвдиалит широко распространён во многих регионах мира. Он обладает способностью концентрировать целый ряд редких элементов, вследствие чего может рассматриваться как потенциальный источник полезных элементов. В минералах группы эвдиалита могут содержаться более 25 элементов таблицы Менделеева — от легкого водорода до тяжелого тантала. Но как эти разнородные элементы размещаются внутри одного минерала? Ответить на этот вопрос нам поможет **кристаллохимия** – наука о взаимном расположении атомов во внутреннем пространстве минерала - структуре. А структура состоит из ячеек, которые повторяются в трех направлениях, благодаря чему частицы внутри минерала расположены в строгом порядке в соответствии с законами симметрии. Для изучения структуры используется **метод рентгеноструктурного анализа**.

КРУГЛЫЕ КИРПИЧИ ЭВДИАЛИТОВОГО ДВОРЦА

Люди заинтересовались эвдиалитом еще 200 лет назад, но он умеет хранить свои тайны, и его структура расшифрована под руководством академика Н.В. Белова относительно недавно – 53 года назад. Поскольку эвдиалит силикатный минерал циркония, кальция и натрия, исследователи ожидали, что его структура состоит из тетраэдров кремния (основа всех силикатных соединений) и октаэдров более крупных катионов. Но они были заинтригованы, когда, кроме уже известных тройных колец $[Si_3O_9]$ и октаэдров $[ZrO_6]$, обнаружили такие удивительные фрагменты как тетраэдрическое кольцо из девяти атомов кремния $[Si_9O_{27}]$ и кольца из шести связанных ребрами октаэдров кальция $[Ca_6O_{24}]$ (рис. 1).

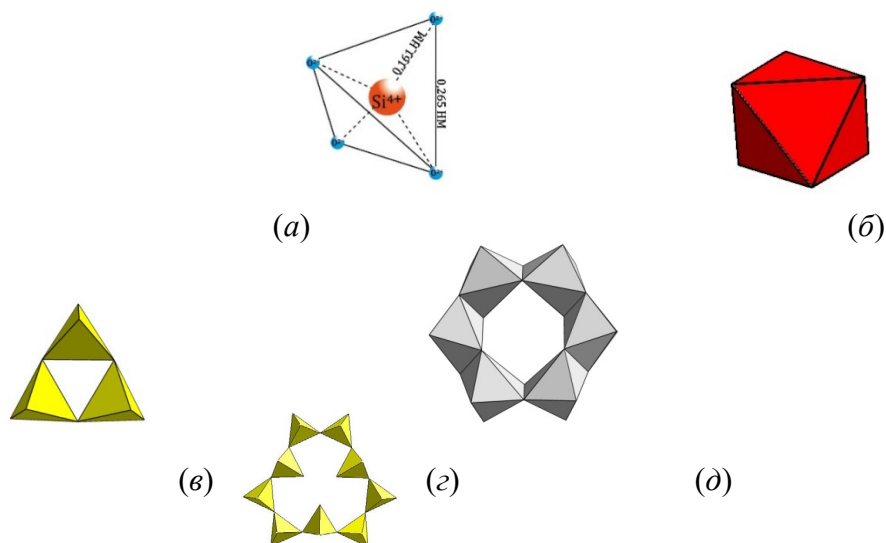
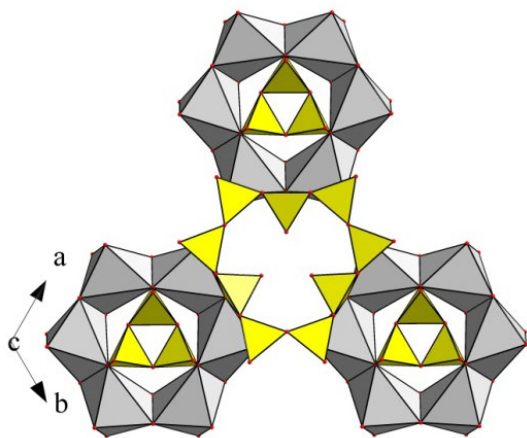


Рис. 1. Кремнекислородный тетраэдр (а), циркониевый октаэдр (б), кремнекислородные кольца - девятичленное $[Si_9O_{27}]$ (в) и трехчленное $[Si_3O_9]$ (г), шестичленное кольцо из реберно-связанных октаэдров $[Ca_6O_{24}]$ (д).



Из этих круглых кирпичей построены трехэтажные стенки (рис.2), содержащие два слоя тетраэдров и слой Ca-октаэдров между ними. Стенки объединяются одиночными октаэдрами циркония в каркасную постройку, в полостях которой размещаются крупные катионы Na. Если взглянуть на структуру эвдиалита вдоль оси третьего порядка, то в разрезе она напоминает слоеный пирог, в котором слои из двух типов кремнекислородных колец чередуются то со слоями шестерных колец, то со слоями из изолированных Zr-октаэдров.

Рис. 2. Трехэтажная стенка из круглых кирпичей (нижний слой из тетраэдров перекрывается с верхним и потому не показан).

ТРЕУГОЛЬНИКИ – КВАДРАТЫ – ПЯТИВЕРШИННИКИ И ДРУГИЕ

Дворец Эвдиалита построен не только из круглых кирпичей. В нем используются и другие строительные блоки–полиэдры. Эти многогранники с различным количеством кислородных вершин от минимальных трех до максимальных 12 имеют и различную форму. Некоторые из них были уже известны в других минералах, как например, треугольники в виде (BO_3) , (SO_3) или (CO_3) групп. Крошечные (CO_3) группы обнаружены в эвдиалите при дальнейших исследованиях его структуры (рис. 3а). Но один полиэдр впервые найден в эвдиалите - это «квадрат» железа, образованный четырьмя атомами кислорода, которые в отличие от тетраэдра, лежат в одной плоскости (рис. 3б). Квадрат между ребрами октаэдров соседних шестерных колец похож больше на раму для портрета железа, чем на его жилище. Ученые, впервые изучавшие структуру эвдиалита, были в шоке. Даже академик Николай

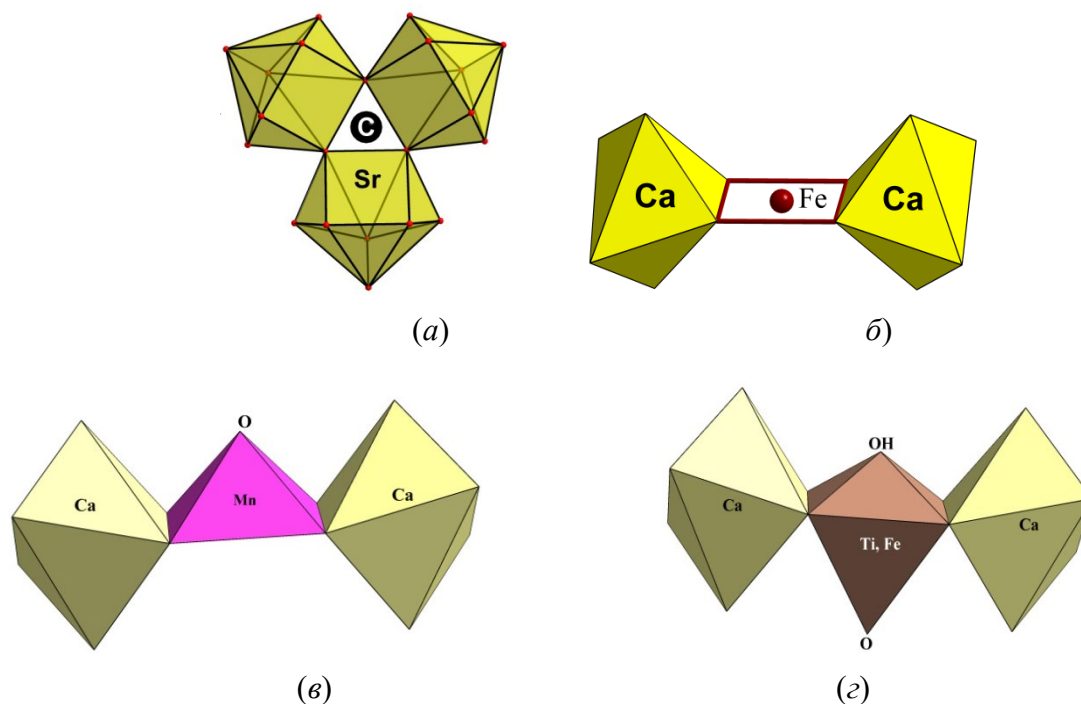
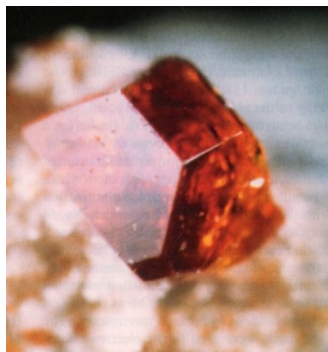


Рис. 3. CO_3 -треугольник (а), Fe-квадрат (б), Mn-пятивершинник (в), Fe-октаэдр (г).

Васильевич Белов не поверил в существование такого полиэдра и просил своих сотрудников снова и снова проверять и перепроверять расчеты. Но одновременно проводимая расшифровка эвдиалита итальянским ученым Джузеппетти показала такой же результат.

А квадрат в дальнейшем, как ни в чем не бывало, жил и пользовался успехом не только у железа, но и у натрия. И даже цирконий, когда его было слишком много, и он весь не помещался в изолированном октаэдре, уютно устраивался в центре квадрата с расстояниями до четырех атомов кислорода 2.07 \AA , как и в родном октаэдре.



А вот атомы марганца использовали квадрат по-своему – добавляли к нему сбоку кислород или ОН-группу и оказывались внутри пятивершинника (рис. 3в). Такой минерал из Посос де Кальдас, что в Бразилии, назван Номурой **манганозвдиалитом**. Недавно его родственник объявился и в Сайшена-Хилл (Индия). Да и у нас в Лепхе-Нелм, на горах Аллуайв и Эвеслогчорр есть свои бледно-сиреневые манганозвдиалиты (рис. 4). Глядя на марганец, и часть железа перебралась в пятивершинники **феррокентбруксита и георгбарсановита**.

Рис. 4. Кристаллы манганохомьяковита до 2 см в поперечнике.

А трехвалентное железо **икранита**, которое гордилось своим именем в честь института ИК РАН, предпочло более солидную резиденцию – октаэдр, забаррикадировав квадрат с двух сторон (рис. 3г).

Полиэдр в виде кислородного треугольника, обнаружен во многих эвдиалитах (**андриановите, цирсилите, феррокентбруксите, голышевите, феррофекличевите, йонсените и моговидите**). В его середине атом углерода. Но как такая маленькая CO_3 -группа удерживается в центре крупных полостей наравне с крупными катионами? А удерживается как раз благодаря этим катионам. Они подпирают ее с трех сторон. Конечно, общие ребра мелкого полиэдра и крупных полиэдров – проблема для всех них, но они находят компромиссное решение. Зато польза от такого содружества есть и для крупных катионов - ведь крошечные кислородные треугольники находятся на оси третьего порядка и своими ребрами более надежно, чем молекулы воды (или атомы хлора), удерживают их крупные полиэдры вокруг оси (рис. 3а). Карбонатные группы стали настолько популярными, что даже добились признания как видообразующие компоненты, и один минерал был даже назван **карбокентбрукситом**.

Середина девятичленных тетраэдрических колец не круглая, а треугольной формы, и кольца используют эти треугольные площадки по-другому. Они сдают их в аренду кремнию или другим некрупным катионам. Ничего личного – просто бизнес. К тому же, треугольные площадки все равно пустуют. Для построения тетраэдрических колец (тройных и девятых) эвдиалиту достаточно 24 атомов кремния. А если появляются лишние 25-е (а иногда и 26-е атомы), то они садятся на ось третьего порядка и достраивают треугольную площадку ОН-группой до тетраэдра (рис. 5а). Эти же площадки используют и лишние Zr, а также Nb, Ti и W, но достраивают их тремя ОН-группами до октаэдра (рис. 5б). При этом кольца превращаются в тетраэдрические $[\text{Si}_{10}\text{O}_{27}(\text{OH})]$ или полиэдрические $[\text{Si}_9\text{MO}_{27}(\text{OH})_3]$ диски. Зато все гости высоковалентные и, в случае необходимости, добавляют положительные заряды, чтобы кристалл всегда был электронейтральным. Вольфрамовые октаэдры пристроились в Сент-Илере в **хомьяковите, манганохомьяковите и йонсените**. Но особенно часто треугольную площадку использует пятивалентный Nb, который гордится своей ролью регулятора заряда. Он найден, по крайней мере, в десяти эвдиалитах, таких как **кентбруксит, георгбарсановит, карбокентбруксит, андриановит и цирсилит**, а в **кентбруксите и георгбарсановите** ниобий пожадничал и захватил целиком треугольную площадку в одном кольце, при этом в другом кольце поселился кремний. Равновесие между дисками нарушилось, но зато зажглось пьезоэлектричество.

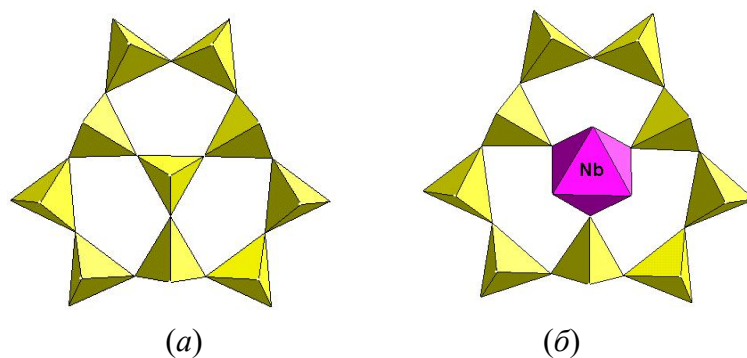


Рис. 5. Тетраэдрический (а) и полиэдрический (б) диски.

ДРУЖБА И ВЗАИМОВЫРУЧКА

Основной катионный состав эвдиалита из атомов Si, Zr, Ca и Na относительно прост. Однако химический анализ большого числа образцов из разных регионов мира показал, что набор элементов в эвдиалитах намного больше и зависит от условий образования минералов. Конечно, трех- и девятичленных кремнекислородных колец это не касается - они неизменны по своему составу. Октаэдры циркония тоже постоянная часть эвдиалитовой структуры. Небольшая примесь гафния (несмотря на его большой вес) к цирконию не оказывает на него существенного влияния, как и примеси титана или ниобия. Исключение составляют лишь два низкоциркониевых минерала, в которых недостаток циркония восполнили атомы титана - титаносиликат **аллуайвит** с горы Аллуайв и наполовину титановый **дуалит**, также из Ловозерского массива. Оба они удвоили высоту своих ячеек (параметр $c \approx 60 \text{ \AA}$), сохранив при этом площадь основания $\sim 14 \times 14 \text{ \AA}^2$. Впоследствии к этим небоскрегам присоединились и два циркониевых минерала из Хибинского массива - **лабиринтит** с Ньюрк-пахка и **расцветаевит** с горы Расвумчорр. Последний удвоился за счет калия, который восполнил недостачу более мелких атомов натрия в полостях каркаса.

А вот шестичленные кольца - другое дело. Они идеально подходят для кальция, и обычно его хватает на все шесть октаэдров. Кальция много не бывает, его избыток может пригодиться и в случае нехватки натрия - ведь атомы Ca и Na одинаковы по размеру, а более высокий заряд кальция только укрепит здание. В **фекличевите** Ca заместил Na с одной стороны шестичленного кольца, а в **голышевите** - с другой. Но **моговидит**, что с горы Мого-Вид Ковдорского массива, не стал мелочиться и заменил натрий с обеих сторон и построил, таким образом, трехэтажную Великую Кальциевую Стену.

Но что делать, когда кальций в дефиците и его меньше необходимых шести атомов? Ни один из октаэдров шестичленного кольца не может быть пустым - оно станет дырявым, а то и вовсе распадется на отдельные части. Чем же можно его заменить? И тут на помощь приходят близкие по размеру Mn и Fe, при этом тоже двухвалентные. Эти мигранты остались не удел в других минералах и рады помочь приютившему их эвдиалиту. Правда, кольцу пришлось пожертвовать плоскостью симметрии m , и фамильный герб (пространственная группа симметрии) эвдиалитов **$R3m$** заменить на **$R3$** . Но это не огорчило марганцевый **онейллит** - ради выживания можно пожертвовать и не только гербами. Железный **раслакит** тоже не переживал по этому поводу. Но когда в кольцо **воронковита** заселился натрий, круглым апартаментам пришлось совсем туго - этот гость сильно отличался от хозяев и по заряду и по размеру. Но если нет выбора, то годится и натрий. Вон **амаблиту** еще хуже - к нему подселился более крупный трехвалентный церий. Но амаблиту грех жаловаться, ведь он самый низкокальциевый из эвдиалитов, и у него был всего один атом Ca.

Взаимовыручка не раз пригодилась и натриям - низкий заряд не позволял им надежно закрепиться в просторных жилищах, и их постоянно смывало водой. Конечно, замесившие

их калий в **андриановите**, **давинчтите** и **расцветаевите** и оксоний в **аквалите** и **икраните** тоже одновалентные, но они гораздо крупнее натрия и могут легче дотянуться до окружающих их кислородов. Еще надежнее замена натрия трехвалентными редкоземельными элементами и двухвалентным стронцием в **йонсените**, **цирсилите** и **тасеките**.

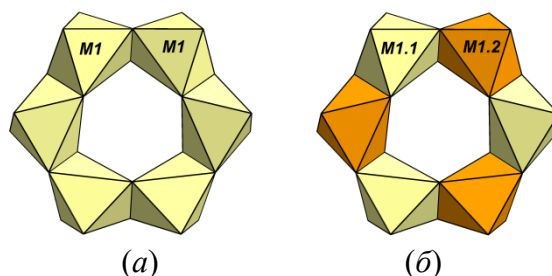
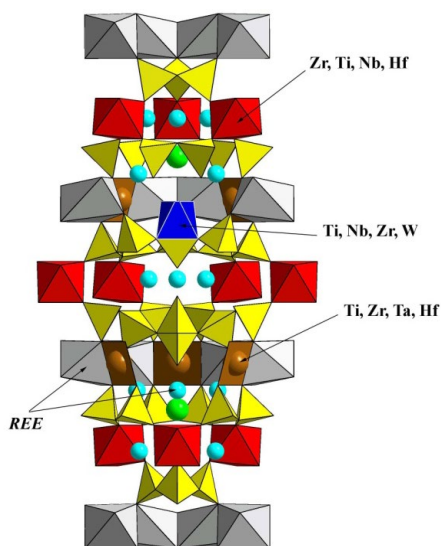


Рис. 6. Шестиугольные кольца в структуре: эвдиалита Ca_6O_{24} с пространственной группой $R3m$ (а) и раслакита, $\text{Ca}_3\text{Fe}_3\text{O}_{24}$ (пр. гр $R3$) (б)

ТАЙНЫ ЭВДИАЛИТА

Прошло 200 лет со времени открытия эвдиалита, а он еще не раскрыл всех своих тайн. Интерес людей к этому минералу связан еще и с тем, что он в значительных количествах может накапливать редкие и редкоземельные элементы. Крупные месторождения эвдиалита



во многих регионах мира позволяют рассматривать его как сырье на цирконий. Ведь запасы минерала циркона - основного источника циркония - в настоящее время почти исчерпаны. Но хотя ученые знают, где полезные элементы находятся в структуре эвдиалита (рис.7), он, как скупой рыцарь, охраняет свои богатства, и технологам никак не удается их добыть. Многочисленные попытки извлечь эти элементы из кристаллов эвдиалита до сих пор не увенчались успехом. Обработка минерала 10% гидрохлорной кислотой при температуре 100°C приводит к полному его разложению с образованием силикагелей, из которых нужные элементы не извлекаются ни «механо-активированным» методом, ни методом «сорбционной конверсии». Единственное, что удалось достичь

Рис. 7. Структура эвдиалита вдоль оси третьего порядка. Стрелками указаны ключевые позиции, в которых располагаются редкие и редкоземельные элементы.

технологам - это выщелачивание Ca , Na и REE при обработке эвдиалита 1–7% раствором оксалата без разрушения его структуры.

Но самая большая тайна эвдиалита – это тайна его происхождения. Крупные красные, похожие на гранат (рис.8), и розовые хорошо ограненные кристаллы этого минерала образуют целые месторождения в разных регионах мира, и в то же время в лабораторных условиях до сих пор не удается синтезировать ни одного кристалла – даже самого простого состава. Попытки химиков синтезировать эвдиалит



Рис. 8. Кристалл эвдиалита до 2.5 см в поперечнике.

предпринимались много раз. Какие только компоненты не смешивали ($6\text{SiO}_2 + \text{ZrO}_2 + 6\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 + \text{FeCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$) при разных температурах $450 - 550^\circ\text{C}$ и давлениях H_2O 85

- 700 бар, - и все бесполезно. И, наконец, недавно в Черноголовском Институте Экспериментальной минералогии РАН при $T = 600^{\circ}\text{C}$ и $P = 2$ кбар из стехиометрической смеси Na_2CO_3 , CaO , Fe_2O_3 , ZrOCl_2 и SiO_2 в 1М водных растворах NaCl и NaF синтезировали эвдиалитоподобное соединение типа раслакита. Синтез проводился в платиновых ампулах в течение 10 дней. И хотя в соединении соотношение $\text{Na}:\text{Ca}:\text{Fe}:\text{Zr}:\text{Si}$ соответствует эвдиалиту простого состава $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{OH})\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, вместо кристаллов получен бесцветный порошок, и это все, что удалось достичь на сегодняшний день.

ВИД ИЛИ РАЗНОВИДНОСТЬ

Первая расшифровка структуры эвдиалита дала ответ на вопрос, как размещаются основные элементы Na, Zr, Si, Ca и Fe в его структуре. А остальные элементы, как полагали исследователи, в виде примесей входят в те же позиции. Они даже не догадывались, что это только начало, и исследования структуры эвдиалитов будут продолжаться. Особенности состава и строения в сочетании с несколькими группами симметрии (пространственные группы $R\bar{3}m$, $R3m$, $R3$ и $P3$) и двумя видами тригональной ячейки ($c \approx 30$ и ≈ 60 Å) обуславливают уникальное кристаллохимическое многообразие минералов этой группы. Число минеральных видов в группе эвдиалита, прошедших апробацию в Комиссии по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНК), превысило 30. Недавно группа пополнилась новым, 31-м по счету, минералом **элсуртитом**, найденном в Ловозерском массиве на горе Сэлсурт (Кольский п-в). Все эти минералы - эвдиалиты, но не совсем, ведь каждый минеральный вид отличается составом, структурными особенностями и физическими свойствами.

Вместе с тем не все члены научного сообщества согласны с принципами выделения минеральных видов в группе эвдиалита и по-прежнему считают эвдиалит одним минералом переменного состава и структуры, а остальных, похожих на него, - **разновидностями**. Да и сами минералы иногда спорят - кто из них лучше...

Трудно наделить животных способностью говорить, как это делал Р. Киплинг, но еще труднее заставить заговорить камни. Однако мы смогли подслушать разговор трех приятелей – родственников Эвдиалита. Одного из них недавно повысили в чине: он стал **«минеральным видом»**. Второй еще не определился, он только претендовал на это звание. Как раз сейчас решалась его судьба в Международной Комиссии. Третьему нечем было похвастать – как был простой **разновидностью**, так ею и остался. Вид очень гордился своим званием и собственным именем и разъяснял друзьям, за какие заслуги он получил такое повышение...

- Наш папаша Эвдиалит безнадежно устарел, – рассуждал минеральный Вид.

- Судите сами: у него дома только цирконии, кальции, натрия да кремнии. - их он передает по наследству из поколения в поколение. Конечно, 24 кремния нужны всем, без этих силикатных кирпичей рухнут перекрытия дома. Но вот 25-й и 26-й тетраэдры – явный перебор. Девятерным кольцам они не нужны и только место занимают (а строительные площадки нынче дороги). Единственное сокровище во дворце - железо (если железо вообще можно назвать сокровищем!). Старик поместил его в щель между шестичленными кольцами из кальциевых октаэдров. Конечно, оно прочно застряло в щели, но спереди и сзади ничем не прикрыто и у всех на виду. Чудит старик, чудит... И что за нелепая идея - квадратная щель, - просто курам на смех. Сколько раз советовали старику спрятать сокровище понадежнее, но он упрям и слышать ничего не хочет. Вон, говорит, в **джиллеспите** железо миллионы лет хранится на виду в таком же квадрате, и его до сих пор не украли...

- Другое дело барсановит (потом его переименовали в **георгбарсановит**), - продолжал минеральный Вид.

- Он выкинул 25-й кремний за ненадобностью и вмонтировал в кольцо октаэдр с ниобием. И получил сразу две выгоды – дополнительный положительный заряд и

пьезоэлектричество. Ведь 26-й кремний (во втором девятёрном кольце) не смог удержать равновесие между двумя девятёрными кольцами, и центр симметрии между ними исчез. **Фекличевит** и **тасекит** сообразили, что могут отличаться от георббарсановита, заменив натрий соответственно на кальций и стронций. Они при этом получали еще и лишние заряды. **Хомяковит** тоже использовал стронций вместо натрия, но чтобы отличаться от тасекита, заменил еще ниобий на вольфрам.

Вид выдержал паузу, наслаждаясь произведенным впечатлением, а затем продолжал.

- А **кентбруксит** пошел еще дальше и вообще отказался от железа и поселил в пятиугольном помещении марганец. Этим он утер нос эвдиалиту и доказал, что его железное сокровище ничего не стоит и без него можно спокойно обойтись. По примеру кентбруксита **манганохомяковит** и **цирсилит** тоже выбросили железо, заменив его на марганец. Вдобавок цирсилит заменил натрий на редкие земли и тем самым отмежевался и от кентбруксита и от манганохомяковита. Кажется, все варианты исчерпаны, и для новых желающих стать Видами шансов нет. Однако, **голышевит** принял простое, но хитроумное решение. Он отличился от фекличевита, поменяв местами близлежащие натрий и кальций и одновременно ниобий и кремний в девятёрных кольцах. **Моговидит** не стал заниматься перестановками, а попросту заменил оба натрия на кальций и совсем выкинул ниобий, оставив только 26-й кремний. И голышевит и моговидит, еще и украсились карбонатными группами вместо традиционного хлора в эвдиалите. Такие вот деловые ребята...

Глядя на них, и другие минералы принялись за реформы. **Икранит** не стал мелочиться и выкинул оба лишних кремния – 25-й и 26-й. Хотел выкинуть и весь натрий, но во время опомнился, когда дом зашатался и чуть не рухнул. К уцелевшим же натриям добавил оксоний H_3O^{+1} . Какая разница? Ведь оксоний тоже одновалентный, но дешевле (его делают из воды с добавкой водорода). А вот к железу он отнесся с уважением - не только сохранил, но и повысил его заряд. А для надежности (мало ли что!) спереди и сзади забаррикадировал молекулами воды. Железо осталось в квадрате и в то же время оказалось в октаэдре – очень удобное жилище.

Но настоящую революцию (хоть и оранжевую!) устроили **онейллит** с **раслакитом**. Кстати, вон они идут (и вид издали поприветствовал их). Вы заметили, что у них гербы не как у всех R_3m , а просто R_3 . Как им это удалось? Скажу вам откровенно, что выкинуть 25-й и 26-й кремний или заменить их на ниобий, вольфрам или что-нибудь в этом роде, а натрий на кальций, стронций, марганец, оксоний, редкие земли, - большого ума не надо. А эти двое сделали почти невозможное, они победили кальциевую мафию. Вы же знаете, что при попустительстве старика шесть кальциевых магнатов обособились от остального населения в своей крепости. Уверяю вас, у них там круговая порука. Нигде в минеральном мире нет такой круглой крепости. Все шесть октаэдров сцепились ребрами в кольцо без единой щелочки, через которую можно было бы проникнуть во внутренний двор или хотя бы подглядеть, что там творится. Мало того, сверху и снизу крепость забаррикадирована тройными кремнекислородными кольцами. Старик говорит, что от крепости большая польза, на ней держится весь дворец. Так-то оно так, да уж больно замкнуто живут тамошние олигархи, с простым народом не общаются. Вот онейллит и придумал план, как заменить кальциевых олигархов марганцами. План удался, а раслакит то же самое проделал с помощью железа. Воронковит пошел еще дальше и подменил все шесть кальциев тремя марганцами и тремя натриями. Население крепости стало разношерстным, и символ равенства между октаэдрами плоскость m навсегда исчезла из тех дворцов.

Вид отхлебнул «Аква минерале» и задумчиво уставился на этикетку бутылки.

- Да, чуть было не забыл про **аквалит**. Думаю, что имя говорит само за себя – в минерале много воды, вернее оксония. Как это случилось? Однажды на минерал обрушился мощный ураган с мужским именем Оксоний. Он снес с лица минерала $\frac{3}{4}$ натрия. Бедняга натрий, которому уже некуда было податься, забрался в квадрат, благо железо потеснилось и приютило его. Оксоний же - шаловлив и непоседлив, он постоянно натыкался на плоскость

m, пока ее не смыло водой. Но *R3* вполне всех устроило. Да и о каком порядке можно говорить, когда ты по колено в воде?

Однако должен вам сказать, что все эти минералы, будь то *R3m* или *R3*, принадлежат к старой генерации одноэтажных минеральных видов. Все чаще их теснят акселераты второй генерации. К ним принадлежу и я. Вы, наверное, заметили, что я на голову выше вас?

- Ты хочешь сказать – длиннее, – уточнил Претендент.

- Ну, да! В два раза! Мой рост 61 Å ...Почти. Недавно измерялся. Как мне удалось так вырасти? Очень просто. Разобравшись в конструкции дворца, я додумался заменить часть циркония титаном, так что на одном этаже колонны остались циркониевые, а на другом стали титановые. Вот и получилось два разных этажа, а значит, и высота здания удвоилась. Конечно, **аллуайвит** первый отмежевался от эвдиалита, поменяв весь цирконий на титан. Но меня никто не посмеет назвать ни эвдиалитом ни аллуайвитом, теперь я - самостоятельный минеральный вид по имени **Дуалит**, двойственный значит.

- Хитрый аллуайвит, хотя и полностью титановый, но тоже двухэтажный. Он развернул 25-й и 26-й кремнии в одну сторону, а на другом этаже – в противоположную. И добился своего – теперь у него рост 60.6 Å. Почти как у меня.

- Двухэтажные минеральные виды немногочисленны, – вздохнул Дуалит.

- Кроме нас с аллуайвитом есть еще **лабиринтит** и **расцветаевит**. Но вот что примечательно: симметрия у нас разная – у аллуайвита *R-3m*, у меня и расцветаевита *R3m*, а у лабиринтита *R3*. С аллуайвитом все понятно, он сам себя сделал centrosymmetric, когда развернул два лишних тетраэдра навстречу друг другу. Бigger и не требуется, ведь основные 24 кремния в эвдиалитах всегда связаны центром. Лабиринтит и расцветаевит удвоились за счет железа и натрия в квадратных щелях. Всем очевидно, что это законное удвоение, ведь железо и натрий разные и по весу, и по заряду, и по размеру. Никто не сможет придраться. Но два минеральных вида не могут быть одинаковыми, как вы понимаете. И расцветаевит решил взять инициативу в свои руки. Он принял единственно правильное решение, пожертвовав восемью натриями. Но заменил их не на оксоний, а на калий, что сразу же выделило его среди одноэтажных и тем более двухэтажных членов семейства (рис. 9).

Лабиринтит же сохранил весь натрий в полном составе и скоро пожалел об этом, т.к. небоскреб с мелким слабосильным натрием стал неустойчивым и злополучная плоскость *m* исчезла. Натрии потеряли ориентир и разбрелись кто куда, отсюда и название лабиринтит.

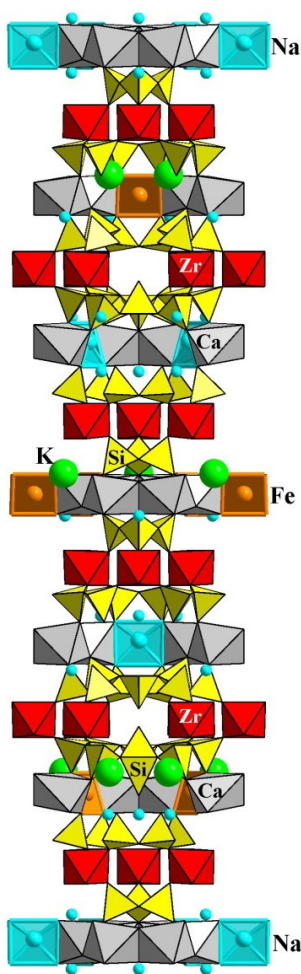


Рис. 9. Структура расцветаевита.

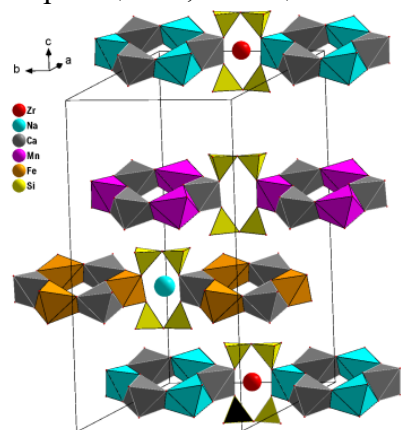
- Должен вам сказать, - продолжал Вид, - что нас, двухэтажных, еще не раскрутили. Поверьте мне, будущее за нами. Нас будет много, очень много. Столько же, сколько одноэтажных. А может, и больше! Нам, деловым, одного этажа мало, развернуться негде. Эх, если бы у меня был еще и третий этаж, – размечтался Вид, но тут же умолк, утомленный собственным красноречием.

Переведя дыхание, он продолжил.

- А теперь вишенка на торте. Вам хорошо известно, что все минералы семейства Эвдиалита – ромбоэдрические. Это закреплено в его конституции, а в гербах всегда присутствует буква *R*. Это значит, что оси третьего порядка (одна вдоль длинного параметра ячейки и параллельные ей две другие - внутри ячейки) абсолютно одинаковы и состав

вокруг них тоже одинаковый. Такая симметрия была установлена с самого начала и оставалась неизбежной на протяжении полувека. И никто даже не замечал, что она делает эвдиалиты похожими друг на друга, а их жизнь статистической. Но вот из горных пород Ловозерского массива прибыл ничем не примечательный низкокальциевый родственник то ли онейллита, то ли раслакита. Он утверждал, что все эвдиалиты разные, и каждый уникален по-своему, а чтобы раскрыть индивидуальные особенности каждого нужно отказаться от высокой симметрии. Только в рамках примитивной решетки $P3$ каждый примесный атом найдет свое настоящее место в пространстве ячейки. К примеру, у него самого по паспорту (кристаллохимическая формула) шестичленное кольцо имеет состав $Ca_3(Mn,Fe)_3$, а значит кольца вокруг трех осей содержат то ли марганцевые то ли железистые октаэдры. И только отказавшись от $R3$ -симметрии он мог предъявить всем одно кольцо из чередующихся октаэдров Ca и Mn, второе Ca-Fe и только третье оставалось неопределенного состава Ca-(Mn,Fe).

Его примеру последовал другой низкокальциевый минерал, прибывший из Хибинских гор. Сначала его считали очень высокосимметричным – $R3m$, а его шестичленное кольцо состояло аж из шести элементов $[Ca_{2.7}MnFeNa_{0.85}Ce_{0.33}Sr_{0.12}]$. Где конкретно проживает каждый из них, никто не знал. Ученые только плечами пожимали – это же статистика... Со временем он захотел познать себя и понизил симметрию до $R3$. Но это не спасло положение. Правда, стало понятно, что кольцо не однородное, а состоит из чередующихся октаэдров двух составов - $[Fe_{1.3}Mn_{1.0}Na_{0.7}]$ и $[Ca_{2.7}REE_{0.3}]$. Но где и как разместились железные, марганцевые, кальциевые и редкоземельные октаэдры было по-прежнему не ясно. Он и раньше подозревал, что его симметрия завышена – ведь ученые давно заметили, что среди 80000 его отражений содержалось 1.25% таких, которые нарушали законы погасания R -решетки, но не обращали на это внимания. Конечно, переход к $P3$ симметрии потребовал больших усилий – ведь надо исследовать не 40-50 позиций, а 150 - 170.



Но оно того стоило. И вот теперь раскрыта тайна его происхождения: все шесть октаэдров имеют индивидуальный состав $[Ca_{0.8}Ce_{0.2}] [Mn_{1.0}] [Na_{0.7}Ce_{0.3}] [Fe_{1.0}] [Ca_{1.0}] [Ca_{1.0}]$, а их комбинации образуют три типа колец - раслакитовое (Ca-Fe), онейллитовое (Ca-Mn) и воронковитовое (Ca-Na) (рис. 10).

Рис. 10. Три типа шестичленных колец. – онейллитовое (Ca-Mn), раслакитовое (Ca-Fe) и воронковитовое (Ca-Na).

И тут многие низкокальциевые $R3$ -минералы стали понижать симметрию, чтобы узнать свою родословную. У **сергеванита** в шестичленном кольце R -ячейки содержится $2/3$ Ca и $1/3$ марганца. Оказалось, что на самом деле атомы Mn находятся в октаэдре, который чередуется с Ca-октаэдром не во всех трех шестерных кольцах (как это следует из $R3$ -структуры), а только в двух. А третье кольцо остается целиком кальциевым. А родственник онейллита из карьера Пудретт, что в массиве Сент-Илер в Квебеке (Канада), наоборот, содержит три атома Mn, два Ca и один Ce. И как результат, он открыл у себя наряду с онейллитовым кольцом целых два новых, неизвестных доселе (Mn-Mn) и (Ce-Ca) кольца. Амаблит из Сент-Амабль (Канада), наряду с онейллитовым (Ca-Mn) также открыл в себе два новых кольца состава (Na-Mn) и (Ce-Mn). Точно такой же набор колец обнаружил у себя родственник воронковита из Хибинского массива, но с заменой (Na-Mn) на (Na-Ca).

Узнав об этих открытиях, даже один высококальциевый минерал из Марокко понизил свою симметрию. Он понимал, что все его кольца будут одинаковыми эвдиалитовыми (Ca-Ca), но рассчитывал на то, что обнаружатся другие интересные детали. И не ошибся. Распределение состава по 171 позициям показало, что некоторые фрагменты, в том числе октаэдры Ti и Nb, нарушили в нем R -центрировку.

Казалось бы симметричную революцию должно подхватить большинство эвдиалитовых минералов. Да где там...Все боятся перемен. Члены Комиссии отказываются

рассматривать претендентов на минеральный вид с учетом их истинной симметрии и требуют описания минерала по старинке в рамках высокой симметрии. Но будущее, поверьте мне, за низкой симметрией.- закончил Вид.

Разновидность, зачарованно слушавшая длинную речь дуалита, робко напомнила, что и у нее есть некоторые достоинства. Но минеральный Вид ответил, что при всем своем уважении к другу он должен сказать, что его достоинств совершенно недостаточно, чтобы занять высокое положение в обществе.

- Конечно, кое-какой ниобий у тебя есть, но его должно быть больше кремния. Таково правило доминирования элемента в позиции - пояснил Вид.

Претендент поздравил преуспевшего товарища и с восхищением пожал ему руку. А Вид вдруг заторопился.

- Ну ладно, мне пора. Заболтался я тут с вами, а у меня еще важная встреча назначена. Говорят, новичок к нам прибыл, кажется «сэлсуртитом» зовется. И двойственный Вид удалился торопливым шагом.

- Мне тоже пора. Сообщи, когда будет решение Комиссии, я приду тебя поздравить, – сказала Претенденту Разновидность.

* * *

Претендент остался один и пребывал в глубоком раздумье от всего услышанного. Он по-хорошему завидовал своему высокопоставленному другу и жалел Разновидность: ведь заслуженные минералы наперечет (их не более 6000), а разновидностей десятки, а может и сотни тысяч (кто их считал!). Но неожиданно он поймал себя на мысли, что его симпатии, как ни странно, на стороне Разновидности. Счастливый друг выглядит как-то неважно - серого цвета, тускловатый и мутноватый, а Разновидность, напротив, румяная, с блестящими гранями и такая прозрачная, как будто светится изнутри. И он понял: это для ученых важно разделить минералы на основные и второстепенные, пересчитать их, дать им имена. Минералы для них - объекты изучения. А для самих минералов неважно, кто в чине Вида, а кто просто Разновидность. Лишь бы минерал был хороший...

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Расцветаева Р.К. Царь Эвдиалит и его династия (Минералогическая сказка) // Природа. 2001. № 4. С. 63-67.
- Хомяков А.П., Расцветаева Р.К. Как мы потеряли барсановит и обрели георгбарсановит // Природа. 2005. № 12. С. 25–28.
- Расцветаева Р.К. Вид и разновидность. Минералогическая сказка // Природа. 2006. № 4. С. 27–31.
- Расцветаева Р.К. Сказки о минералах. Изд-во Нижегородского госуниверситета. 2008. 161 с.
- Расцветаева Р.К. От эвдиалитов — к мегаэвдиалитам. 2009. № 2. С. 38–47.
- Расцветаева Р.К. Очерки по геокристаллохимии эвдиалитов. Изд-во Ламберт. 2017. 61 с.
- Расцветаева Р.К. Минералы наизнанку // Сборник Многогранная геология. Выпуск IV. Санкт-Петербург. 2019. С. 45–58.
- Расцветаева Р.К., Аксенов С.М. Эвдиалиту- 200 лет: история открытия и изучения // Природа. 2019. № 11. С. 73–76. DOI:10.7868/S0032874X19110085
- Расцветаева Р.К. От R3-эвдиалитов к P3-эвдиалитам // Природа. 2021. №6. С. 45-53. DOI:10.7868/S0032874X21060053.
- Расцветаева Р.К. И снова эвдиалит: 31-й природный и первый синтетический // Природа. 2023. № 6. С. 52-54. DOI:10.7868/S0032874X23060054РИНЦ.