

УДК 548.736.6

## РАЗВИТИЕ ИДЕЙ Г.Б. БОКИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ГЕОКРИСТАЛЛОХИМИИ

© 2009 Р.К. Расцветаева\*

*Институт кристаллографии РАН, Москва**Статья поступила 3 декабря 2008 г.*

Рассмотрены подходы к выделению минеральных видов, сформулированные Г.Б. Бокием и его оппонентами. Показано, что с развитием техники рентгеновских экспериментов структурно-химический "принцип доминантности" стал основным инструментом открытия минералов. На примере группы эвдиалита демонстрируется выделение минеральных видов, отличающихся друг от друга химическими и структурными особенностями, физическими свойствами и условиями образования.

**Ключевые слова:** кристаллохимия, минералы, видообразование минералов, правило доминантности, типоморфизм, эвдиалиты.

Среди широкого спектра научных интересов Г.Б. Бокия особое место занимает структурная минералогия. Получив блестящее образование в Ленинградском горном институте, Георгий Борисович впоследствии увлекся кристаллографией и кристаллохимией. Результатом многочисленных работ в области геохимии стало создание им наиболее полной систематики основных групп минералов и неорганических соединений. При этом он не делал различий между природными и полученными в лаборатории соединениями. В работах [ 1, 2 ] он писал: "Минералогия, хотя она и рассматривается как особая наука, все же представляет учение о неорганических соединениях, образующих земной шар, и является лишь частью химии, на представлениях которой она базируется полностью".

Определение минерального вида — основное классификационное понятие минералогии, а разделение всего минерального царства на самостоятельные виды и разновидности — основная проблема минералогии. Г.Б. Бокий в работе "Основные понятия минералогии" [ 3 ] дал следующее определение минерального вида: "Минеральным видом называется простое вещество или его химическое соединение, выкристаллизовавшееся в результате гео- или космохимического процесса из природной физико-химической системы". Химические принципы были введены в минералогия И.Я. Берцелиусом в начале XIX в. и оставались вплоть до начала XX в. С появлением рентгеноструктурного анализа химическая номенклатура и систематика минералов сменилась структурно-химической, и Г.Б. Бокий сформулировал конкретные принципы для выделения минерального вида: "За границы вида в случае образования непрерывных твердых растворов между двумя предельными видами принимается их середина, т.е. 50 %, в случае трех видов — 33,3 % и т.д.". В дальнейшем с учетом сложных многокомпонентных минералов Международная комиссия по новым минералам КНМНМ ММА расширила правило 50 % на "принцип доминантности" компонентов в отдельных неэквивалентных позициях кристаллической структуры. В согласии с этими принципами, в тех случаях, когда одних химических и порошковых кристаллографических данных недостаточно для доказательства индивидуальности нового минерала, при подаче материалов в Комиссию необходимо провести его **рентгеноструктурный и кристаллохимический анализ**.

---

\* E-mail: rast@ns.crys.ras.ru

В настоящее время число минеральных видов превысило 4000 и продолжает увеличиваться (во всем мире ежегодно открывают в среднем около 50—60 минералов). За последние 10 лет лишь в Хибинах и Ловозере открыто 100 минералов. Открытие нового минерала — задача во многом более трудная, чем синтез нового вещества. Для этого требуется не только обнаружить новый минерал, но и досконально изучить его химический состав, кристаллическую структуру и физические свойства. Зачастую полный цикл исследований проводится на ничтожном, иногда микроскопическом количестве материала. Тем не менее открытия новых минералов продолжают, так как многими исследователями осознается важность этой работы для расширения наших знаний о геологических процессах.

Минералогия обязана своими успехами структурно-химическим критериям выделения минеральных видов, которые приняты на мировом уровне. Однако не все разделяют эти сформулированные Г.Б. Бокием и ставшие общепринятыми критерии. Дискуссии по поводу природы минералов и принципов видообразования в минералогии продолжаются до сих пор [4—8]. Главная претензия к "исследователям минерального вещества", высказанная в работе [4], заключается в том, что минерал рассматривается ими как "часть полученных химиками искусственных соединений, с перенесением на них принятой в химии номенклатуры и химических принципов систематизации". Критики "принципа доминантности" считают, что благодаря такому кристаллохимическому критерию в проблеме видообразования в настоящее время существует "беспредел", "взрывное увеличение числа минеральных видов", "интенсивное размножение, или "клонирование" минеральных видов за счет уже известных ранее минералов, засоряющее номенклатуру генетически необоснованными "мертворожденными видами".

Что же стоит за этой эмоциональной критикой и какие альтернативные подходы предлагают оппоненты Г.Б. Бокия и его последователей? Считая, что при выделении новых минеральных видов кристаллохимические признаки недостаточны, они предлагают [4, 5] учитывать "конкретную геологическую обстановку их формирования, а также их эволюцию в геологических процессах". По их мнению, минеральный вид должен иметь "самостоятельное поле стабильности, в пределах которого могут закономерно и непрерывно меняться как химический состав и физические свойства, так и некоторые особенности кристаллической структуры...". Таким образом, упрекая Г.Б. Бокия (и минералогов, следующих общепринятым на международном уровне критериям выделения минеральных видов), в узости критериев, ставящих во главу угла состав и структуру, т.е. первичные признаки природных веществ литосферы, они предлагают в качестве решающего критерия даже не вторичный признак (физико-химические свойства), а вытекающее из них свойство проявлять термодинамическую стабильность в тех или иных условиях. Определение поля стабильности — самостоятельная задача для таких областей науки как геохимия, петрология, материаловедение, минерогенезис. Это полезная информация, но к проблеме видообразования и минералогической классификации она не имеет прямого отношения. Кроме того, получение данных о поле стабильности и "поведении минерала внутри поля и на его границах" в большинстве случаев невозможно, что признают и сами авторы статьи [4]. Особенно проблематично изучение поля стабильности для таких многокомпонентных систем, как эвдиалит, который наряду с некоторыми другими порообразующими минералами до сих пор не удается даже синтезировать. Для подавляющего числа минералов поле стабильности не известно даже в координатах давление—температура, а поведение на всех границах этого поля не изучено ни для одного минерала. Если исходить из того, что существенным в понятии минерального вида является его поле стабильности, следует дискредитировать почти все (если не все) минералы, поскольку поле стабильности в координатах реальных параметров, влияющих на изменения минералов (включая концентрации минералообразующих элементов, окислительно-восстановительные условия, кислотность), не определено ни для одного минерала, в том числе и порообразующего. Многие минералы кристаллизуются на фоне быстрых изменений окружающих условий (охлаждение лавы, резкий спад давления при выходе летучих компонентов из магматической камеры и т.д.), и такие минералообразующие системы **неравновесны в принципе.**

Призывая упразднить большую часть минеральных видов, авторы [ 4 ] предлагают альтернативу: "Детализация данных о химическом составе и структуре уже известных минеральных видов должна проводиться на основе их уточнения, с выделением их как **разновидностей** видов, без присвоения им новых персональных названий". Однако если все генетически недостаточно изученные минералы объявлять разновидностями, то придется исключить из списка минеральных видов многие редкие и аксессуарные минералы, само присутствие которых в горной породе несет важную генетическую информацию. А как быть с метастабильными минералами? А трансформационные (термин введен А.П. Хомяковым) минеральные виды, которые не могут кристаллизоваться непосредственно из подвижной среды, а образуются при преобразовании твердого вещества в его реакциях с водой и другими компонентами окружающей среды — тоже разновидности?

В ряде работ этих авторов [ 5, 6 ] в качестве примера "неблагополучных" минеральных видов чаще всего приводятся минералы группы эвдиалита.

Научный интерес к цирконосиликату эвдиалиту, широко распространенному во многих регионах мира, вызван тем, что ему принадлежит одно из центральных мест в минералогии и геохимии циркония. Белов предвидел, что за названием "эвдиалит" скрывается не один минерал, поэтому в "Очерках" [ 9 ] писал, что "...минералы **группы эвдиалита** (выделено авт.) могут быть породообразующими в пегматитах". Николай Васильевич стоял у истоков геохимии эвдиалита, и заложенные им идеи получили дальнейшее развитие. Чрезвычайно сложный химический состав эвдиалита (1/3 таблицы Менделеева) и упорядочение катионов по ряду изоморфемных позиций структуры дает основание для выделения новых минеральных видов в группе эвдиалита в соответствии с принятой [ 10 ] для других минералов практикой. Замещение даже в одной структурной позиции в элементарной ячейке эвдиалита является важным признаком, несущим **генетическую** информацию, т.е. информацию, связанную с условиями образования минерала. Понятие типоморфизма (в том числе структурного), выработанное современной минералогией, послужило очень эффективным инструментом диагностики принадлежности минерала к той или иной геологической формации, и современные подходы к выделению минеральных видов являются естественным развитием этого понятия.

К настоящему времени группа, возглавляемая эвдиалитом, насчитывает 24 химически и структурно индивидуальных минеральных вида, прошедших утверждение Международной комиссией по новым минералам и названиям минералов (КНМНМ ММА). Среди них уникальные 24-слойные минералы — мегаэвдиалиты, которые открыты А.П. Хомяковым и выделены им во "Вторую главу кристаллохимии эвдиалитов" по аналогии с названием книги Н.В. Белова "Вторая глава кристаллохимии силикатов". По нашим прогнозам, возможны также еще более упорядоченные 36-слойные структуры с периодом  $c \sim 90 \text{ \AA}$ .

Однако, по мнению авторов [ 4—6 ], эвдиалит "один минерал переменного состава и строения", а КНМНМ ММА "утвердила в качестве основополагающих видообразующих признаков **второстепенные** (выделено автором) изменения в химическом составе и структуре минералов". В отличие от авторов [ 4 ], которые говорят о "второстепенных" или "несущественных" химических изменениях, но не разъясняют, с какого момента эти изменения становятся "главными" или хотя бы "существенными", принцип "доминирования" отвечает на этот вопрос конкретно. Мы покажем на конкретных примерах этой группы (см. таблицу) оправданность их выделения в качестве самостоятельных минеральных видов.

Общая формула эвдиалитов в типовой ячейке с параметром  $c \sim 30 \text{ \AA}$  имеет вид:  $[N(1)N(2)N(3)N(4)N(5)]_3[M(1.1)M(1.2)]_3[M(2.1)M(2.2)M(2.3)]_{3-6}[M(3)M(4)]Z_3[Si_{24}O_{72}]\emptyset_4X(1)X(2)$ , где  $N(1-5)=Na, H_3O^+, K, Sr, REE, Y, Ba, Mn, Ca$ ;  $M(1) = Ca, Mn, REE, Na, Sr, Fe$ ;  $M(2) = Fe, Mn, Na, Zr, Ta, Ti, K, Ba, H_3O$ ;  $M(3)$  и  $M(4) = Si, S, Nb, Ti, W, Na$ ;  $Z = Zr, Ti, Nb$ ;  $\emptyset = O, OH, H_2O$ ;  $X(1)$  и  $X(2) = Cl, F, H_2O, OH, CO_3, SO_4, AlO_4, MnO_4$ . Буквами обозначены набор химических элементов и соответствующие структурные позиции. Гетерогенный каркас составлен из тройных и девятых кремнекислородных колец и шестерных колец из  $(Ca, O)$ -октаэдров, объединенных дискретны-

## Кристаллохимические характеристики ряда минералов группы эвдиалита

Минерал	Параметр <i>c</i> , пр. гр.	Катионный состав, доминирующий в ключевых каркасных и внутрикаркасных позициях				
		<i>A</i> (1-5)	<i>M</i> (1)	<i>Z</i>	<i>M</i> (2)	<i>M</i> (3-4)
Эвдиалит- <i>s.s.</i>	30,05, <i>R3m</i>	Na <sub>15</sub>	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	Fe <sup>[4]</sup> <sub>3</sub>	[Si][Si]
Эвдиалит Джузеппетти	30,08, <i>R-3m</i>	Na <sub>12</sub>	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	Fe <sup>[4]</sup> <sub>3</sub>	[Zr][Zr]
Георббарсановит	29,95, <i>R3m</i>	[Na <sub>12</sub> Mn <sub>3</sub> ]	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	Fe <sup>[5]</sup> <sub>3</sub>	[Nb][Si]
Кентбруксит	30,09, <i>R3m</i>	Na <sub>15</sub>	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	Mn <sup>[5]</sup> <sub>3</sub>	[Nb][Si]
Икранит	30,08, <i>R3m</i>	(Na, H <sub>3</sub> O) <sub>15</sub>	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	Fe <sup>3+6</sup>	[I][I]
Аквалит	31,24, <i>R3m</i>	[(H <sub>3</sub> O) <sub>7</sub> Na <sub>2</sub> K <sub>2</sub> ]	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	[H <sub>3</sub> O, Na <sup>[4]</sup> ] <sub>2</sub>	[Si][Si]
Андриановит	30,24, <i>R3m</i>	[Na <sub>12</sub> K <sub>3</sub> ]	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	Mn <sup>[5]</sup> <sub>3</sub>	[Nb][Si]
Хомяковит	30,08, <i>R3m</i>	[Na <sub>12</sub> Sr <sub>3</sub> ]	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	Fe <sup>[5]</sup> <sub>3</sub>	[W][Si]
Гольшевит	29,98, <i>R3m</i>	[Na <sub>10</sub> Ca <sub>3</sub> ]	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	Fe <sup>3+5</sup> <sub>2</sub>	[Nb][Si]
Моговидит	30,21, <i>R3m</i>	[Na <sub>9</sub> Ca <sub>6</sub> ]	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	Fe <sup>3+5</sup> <sub>2</sub>	[I][Si]
Цирсилит-(Ce)	30,08, <i>R3m</i>	[Na <sub>12</sub> Ce <sub>3</sub> ]	Ca <sub>6</sub>	Zr <sub>3</sub>	Mn <sup>[5]</sup> <sub>3</sub>	[Nb][Si]
Онейллит	29,96, <i>R3</i>	Na <sub>15</sub>	[Ca <sub>3</sub> Mn <sub>3</sub> ]	Zr <sub>3</sub>	Fe <sup>[5]</sup> <sub>3</sub>	[Nb][Si]
Раслакит	30,02, <i>R3</i>	Na <sub>15</sub>	[Ca <sub>3</sub> Fe <sub>3</sub> ]	Zr <sub>3</sub>	Na <sup>[5]</sup> <sub>3</sub>	[Si][Si]
Воронковит	30,27, <i>R3</i>	Na <sub>15</sub>	[Na <sub>3</sub> Mn <sub>3</sub> ]	Zr <sub>3</sub>	Fe <sup>[4]</sup> <sub>3</sub>	[Si][Si]
Аллуайвит	60,60, <i>R-3m</i>	Na <sub>30</sub>	Ca <sub>12</sub>	Ti <sub>6</sub>	Na <sup>[4]</sup> <sub>8</sub>	[Si <sub>2</sub> ][Si <sub>2</sub> ]
Дуалит	60,72, <i>R3m</i>	Na <sub>30</sub>	Ca <sub>12</sub>	[Zr <sub>3</sub> Ti <sub>3</sub> ]	Na <sup>[5]</sup> <sub>6</sub>	[Mn][Si <sub>3</sub> ]
Лабиринтит	60,73, <i>R3</i>	Na <sub>30</sub>	Ca <sub>12</sub>	Zr <sub>6</sub>	[Fe <sub>3</sub> Na <sub>5</sub> ] <sup>[4]</sup>	[Ti][Si <sub>3</sub> ]
Расцветаевит	60,97, <i>R3m</i>	[Na <sub>26</sub> K <sub>4</sub> ]	Ca <sub>12</sub>	Zr <sub>6</sub>	[K <sub>4</sub> <sup>[7]</sup> Fe <sup>[4]</sup> ] <sub>3</sub>	[Si <sub>2</sub> ][Si <sub>2</sub> ]

Примечание. Более подробную информацию об этих и других минералах группы эвдиалита и ссылки на оригинальные публикации можно найти в обзорах [ 11, 12 ].

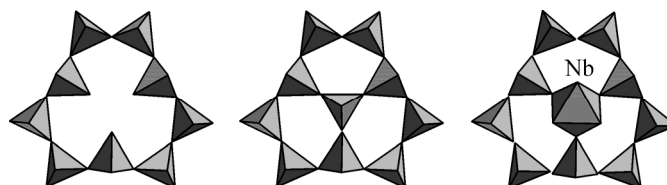
ми (Zr,O)-октаэдрами. В полостях каркаса размещаются щелочные, щелочноземельные катионы, а также катионы переходных металлов и крупные дополнительные анионы.

Одна из важных ключевых позиций находится в середине девятерных кремнекислородных колец (рис. 1). В обоих независимых кольцах она занята кремнием (типовой эвдиалит) или цирконием (эвдиалит Джузеппетти), а чаще комбинированно — ниобием и кремнием или титаном и кремнием и т.д. И очень редко одна или обе позиции преимущественно вакантны, как в **икраните**.

Согласно номенклатуре, разработанной подкомиссией КНММН ММА [ 10 ], собственно эвдиалит-*s.s.*, возглавляющий группу структурно и химически отличающихся от него минералов, описывается формулой Na<sub>15</sub>Ca<sub>6</sub>Zr<sub>3</sub>(Si<sub>26</sub>O<sub>73</sub>)(O,OH,H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>(Cl,OH)<sub>2</sub>, в которой присутствует предельное количество атомов Si и отсутствуют заменяющие их октаэдрические катионы Nb, Ti и др. Подборка из нескольких кристаллохимически охарактеризованных минералов представлена в таблице, где приведены параметр *c* ячейки, симметрия и катионный состав в 5 ключевых для видообразования областях, а жирным шрифтом выделены признаки каждого минерала, которые не просто "существенно", а глобально отличают их от собственно эвдиалита.

Атомы Nb в центре девятерного кольца — характерная особенность **кентбруксита**, изученного группой Йонсена минерала из Восточной Гренландии. Но доминирование ниобия

Рис. 1. Варианты заполнения центра девятерных кремнекислородных колец. Слева направо: вакантная позиция, тетраэдр, октаэдр



в этой позиции характерно не только для кентбруксита. Еще, по крайней мере, девять минералов имеют в центре одного из девятерных колец октаэдр Nb. Судьбу минерала в таких случаях решает комбинация из элементов в двух или нескольких ключевых позициях.

Сочетание Nb в октаэдре с пятивершинником Fe, образующими кластер  $[\text{NbFe}_3]$ , отличает **георгбарсановит** от кентбруксита с кластером  $[\text{NbMn}_3]$ . Среди эвдиалитов, содержащих кластеры, георгбарсановит выделяется как минерал с пьезоэлектрическими свойствами. Сочетание Nb с Mn наблюдается и в минерале **андриановите**. Уникальной особенностью андриановита является доминирование K в ключевой позиции  $A(4)$ , наиболее изоморфоемкой среди пяти крупнокатионных  $A$ -позиций, в то время как в родственных минералах она является На-доминантной или чисто натриевой.

Если ниобий в центре девятерного кольца присутствует в целом ряде минералов, то замещение его на вольфрам в **хомяковите** стало полной неожиданностью. Второй неожиданностью было замещение натрия в позиции  $A(4)$  стронцием, тогда как эти элементы редко сопровождают друг друга в природе. Оба элемента представлены столь существенно, что доминируют в позициях Nb и Na соответственно.

В структуре эвдиалита для построения шестерного кольца из реберносвязанных октаэдров требуется шесть атомов Ca. Когда  $\text{Ca} > 6$ , он объединяет шестерные кольца в кальциевый слой, располагаясь в полиэдре  $A(3)$  структуры **фекличевита** или полиэдре  $A(4)$  структуры **голышевита**. Если же Ca очень много ( $> 10$  атомов на формульную единицу), то он входит в обе ключевые  $A$ -позиции и образует двойной слой Ca в структуре **моговидита**.

И, наоборот, в тех случаях, когда Ca не хватает даже на шестерное кольцо, его октаэдры заполняются другими подходящими по размеру элементами — Mn (**онейллит**) или Fe (**раслаки**). Оставаясь доминирующим в одной тройке октаэдров, Ca оказывается в подчиненном количестве во второй. Возможно также вытеснение Ca из обоих независимых октаэдров с замещением его в одном Mn и в другом Na, как это недавно установлено в **воронковите** (рис. 2). В этих случаях плоскость симметрии, проходящая между разнообъемными октаэдрами, занятыми разноименными элементами, перестает "работать", и симметрия понижается до  $R3$ .

Особую подгруппу составляют гидратированные минералы. На более поздней стадии (с понижением температуры) высокощелочные условия минералообразования сменяются менее щелочными с последующим переходом в стадию кислотного выщелачивания, когда выщелоченные эвдиалиты практически полностью теряют натрий и подвергаются гидратации. Наибольшей гидратированностью характеризуется содержащий до 10 мас.%  $\text{H}_2\text{O}$  **аквалит**. Он отличается нетипичной для широко распространенных эвдиалитов бледно-розовой окраской и пониженной плотностью. Процесс гидратации чаще всего реализуется через замещение натрия полностью или частично на однозарядные группы  $\text{H}_3\text{O}^+$  в крупнокатионных  $A$ -позициях как ключевых, так и обычных.

Безусловным достижением кристаллохимии являются мегаэвдиалиты, которые отличаются от эвдиалитов "Первой главы" сильно вытянутой ячейкой (соотношение осей  $c/a \sim 5$ ) с удвоенным периодом  $c \sim 61 \text{ \AA}$ , высокоупорядоченной структурой и модулярным характером строения. Поскольку  $R$ -трансляция "работает" и в ячейке с удвоенным периодом  $c$ , мегаэвдиалиты нельзя считать сверхструктурами в обычном смысле слова, удвоение  $c$ -периода имеет иную природу и связано с модулярностью минерала. Теоретически может удвоиться ячейка любого эвдиалита, однако истинно удвоенными могут считаться такие, которые характеризуются набором дифракционных отражений, содержащим не менее 10 % удваивающих рефлексов. И единственным инструментом в распознавании мегаэвдиалитов среди эвдиалитов с типовой ячейкой становится рентгеноструктурный анализ. На сегодняшний день утверждено четыре минеральных вида с удвоенной ячейкой, а всего найдено и изучено 14 мегаэвдиалитов, структурные данные для которых нами обобщены в обзоре [12].

Главное химическое отличие **аллуайвита** от других членов группы эвдиалита — полное отсутствие циркония и железа. Оставаясь в рамках структурного типа эвдиалита, аллуайвит является конечным титановым членом эвдиалитового ряда. Бесцветность кристаллов аллуайвита

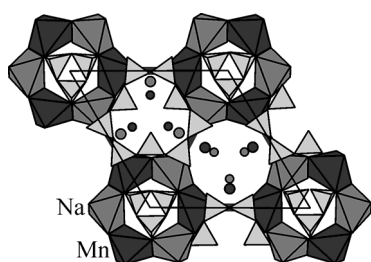
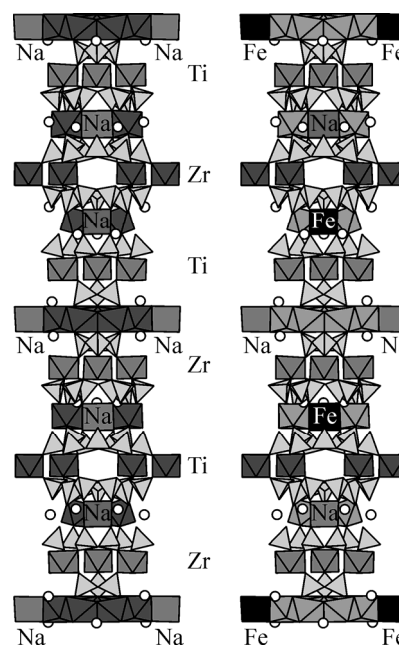


Рис. 2. Замена атомов Ca на Mn и Na в октаэдрическом кольце структуры воронковита

Рис. 3. Чередование эвдиалитового  $\{Zr_3[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2\}^{-36}$  и аллуайвитового  $\{Ti_3[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2\}^{-36}$  каркасов в структуре дуалита и модулей  $[Na^{4}]$  и  $[Fe^{4}]$  в структуре расцветаевита



можно объяснить его безжелезистостью. При избытке Na и в отсутствии Fe стало возможным размещение части атомов Na в плоском квадрате, что ранее не фиксировалось в эвдиалитах. Эта позиция дополняется двумя другими по обе стороны от квадрата, где атомы Na располагаются в 7-вершинниках. И такая линейная группировка  $Na^{[7]}-Na^{[4]}-Na^{[7]}$  стала своеобразной "визитной карточкой" аллуайвита. Высокая кремнеземистость аллуайвита в сочетании с ориентационным упорядочением встроенных в девятёрные кольца дополнительных 25- и 26-го тетраэдров Si — основная причина этого удвоения. Еще один существенно титановый, но содержащий также цирконий (Zr:Ti = 1:1) минерал назван **дуалитом**. Кристаллы лимонно-желтого цвета по составу промежуточные между аллуайвитом и эвдиалитом. Несмотря на то, что изоморфизм Zr и Ti в природе встречается крайне редко, в дуалите оба элемента представлены поровну с чередованием их вдоль длинной трансляции, ставшего причиной удвоения ячейки. В структуре одного минерала присутствуют оба смешанных анионных каркаса — эвдиалитовый  $\{Zr_3[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2\}^{-36}$  и аллуайвитовый  $\{Ti_3[Si_9O_{27}]_2[Si_3O_9]_2\}^{-36}$  (рис. 3).

Высоконатриевый **лабиринтит** получил свое название из-за необычайно сложной структуры, элементарная ячейка которой с учетом пониженной симметрии  $R3$  содержит почти 800 атомов, распределенных по более чем 100 кристаллографическим позициям. Решающим фактором, удваивающим ячейку, стало то обстоятельство, что титан (соотношение Zr:Ti = 5,9:0,52) сконцентрировался в одном модуле и доминирует в позиции  $M(3)$  в центре одного девятёрного кольца, в то время как в другом модуле центр обоих колец занят тетраэдрами Si. Высококалиевый **расцветаевит** — красновато-розовый минерал, характерный для обогащенных калием ультраагпаитовых пегматитов Хибинского массива. Как установлено автором находки минерала [13], уникальным диагностическим признаком, отличающим расцветаевит от других эвдиалитов, являются ярко выраженные ионообменные свойства и легкая гидратируемость. Эти свойства связаны с особенностями структуры минерала и, по мнению Хомякова, объясняют широкое распространение гидратированных расцветаевитоподобных минералов "в целом ряде проявлений высококалиевой позднепегматитовой минерализации на территории центральной дуги Хибинского массива" [13]. Упорядочение железа и натрия (с калием) по модулям на разных этажах (см. рис. 3) продуцирует 40 % удваивающих ячейку рефлексов. Основная специфика минерала — высокое содержание калия — делает этот минерал, как подчеркивает Хомяков, родоначальником "крупнейшей калиевой ветви генеалогического дерева, возглавляемого эвдиалитом". Расцветаевит относится, по определению А.П. Хомякова [13], к "особой генетической группе трансформационных минеральных видов".

Этот далеко не полный обзор дает представление о химическом и структурном разнообразии представителей группы эвдиалита, которое находит отражение в изменениях параметров ячейки ( $a = 14,078\text{—}14,296$ ,  $c = 29,949\text{—}31,525$ ;  $60,60\text{—}60,969$  Å) и симметрии (пр. гр.  $R3m$ ,  $R3$ ,  $R-3m$ ,  $R-3$ ) (см. таблицу). Нет сомнений, что высококальциевый моговидит или практически бескальциевый воронковит, пьезоэлектрический георгбарсановит или гидратированный аквалит, титаносиликат аллуайвит и высококалийевый цирконосиликат расцветаевит — не разновидности эвдиалита, а полноценные минеральные виды. Но химические различия играют роль только при одном условии — иной элемент (сколько бы его ни было) не должен “размазаться” по нескольким позициям, а “обязан” сконцентрироваться хотя бы в одной из них. И понятно, что без рентгеноструктурного анализа предсказать поведение элемента в структуре невозможно.

Настаивая на том, что химически различные минералы, относящиеся к одному структурному мотиву, являются разновидностями, оппоненты принятой Международной минералогической ассоциацией систематики минеральных видов не дают конкретных рекомендаций, как обозначать и систематизировать эти разновидности, чтобы использовать информацию об их химических и структурных особенностях. Превратив минеральные виды в разновидности, мы потеряем ценнейшую информацию о минералах с яркой индивидуальностью, многие из которых являются типоморфными и привязаны к конкретной геологической обстановке их кристаллизации или трансформации.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 07-05-00094).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокий Г.Б. Итоги науки и техники. Сер. Кристаллохимия. — М.: ВИНТИ, ЗАО «АСТРКОСМО-СИНФОРМ». — 1997. — 31. — С. 192.
2. Бокий Г.Б. // Труды Ин-та геологии и геофизики. — Новосибирск, 1985. — Вып. 610. — С. 1 — 11.
3. Бокий Г.Б. Основные понятия минералогии. — Киев: Наукова Думка, 1978. — С. 11 — 16.
4. Боруцкий Б.Е., Урусов В.С. // Природа. — 2008. — № 6. — С. 21 — 32.
5. Боруцкий Б.Е. // Там же. — 2007. — № 2. — С. 5 — 14.
6. Урусов В.С., Боруцкий Б.Е. // Труды XVI Международного совещания по кристаллохимии и рентгенографии минералов 2007. — Миасс, 2—6 июля 2007. — С. 13.
7. Урусов В.С. // Природа. — 1983. — № 10. — С. 82 — 88.
8. Хомяков А.П. // Там же. — 1996. — № 5. — С. 62 — 74.
9. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. — М.: Недра, 1976.
10. Johnsen O., Ferraris G., Gault R.A. et al. // Canad. Min. — 2003. — 41. — P. 785 — 794.
11. Расцветаева Р.К. // Кристаллография. — 2007. — 52, № 1. — С. 50 — 67.
12. Расцветаева Р.К., Хомяков А.П. // Там же. — 2003. — 48, № 6, Приложение. — С. S78 — S90.
13. Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Аракчеева А.В. // ЗРМО. — 2006. — № 1. — С. 49—65.