УДК 549.6

ЗВМО, № 5, 2003 г.
Zapiski VMO, N 5, 2003

© Почетный член *А. П. ХОМЯКОВ*,* д. чл. *В. Д. ДУСМАТОВ*,**
почетный член *Дж. ФЕРРАРИС*,*** *А. ГУЛА*,*** Г. ИВАЛЬДИ,***
д. чл. *Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ*****

ЦИРСИЛИТ-(Ce) $(Na,\square)_{12}(Ce,Na)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$ И КАРБОКЕНТБРУКСИТ $(Na,\square)_{12}(Na,Ce)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3\cdot(CO_3)\cdot H_2O$ — НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ЭВДИАЛИТА ИЗ ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА ДАРА-И-ПИОЗ, ТАДЖИКИСТАН[1]

A. P. KHOMYAKOV, V. D. DUSMATOV, G. FERRARIS, A. GULA, G. IVALDI, G. N. NECHELYUSTOV.

ZIRSILITE-(Ce), $(Na,\square)_{12}(Ce,Na)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$,
AND CARBOKENTBROOKSITE $(Na,\square)_{12}(Na,Ce)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$ —
TWO NEW EUDIALYTE GROUP MINERALS FROM DARA-I-PIOZ ALKALINE MASSIF, TAJIKISTAN

** Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 121357, Москва, ул. Вересаева, 15*
*** Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана, 117901, Москва, Ленинский пр., 18/2*
**** Туринский университет, I-10125, Турин*
***** Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья, 109017, Москва, Старомонетный пер., 31*

Zirsilite-(Ce) (ZIR) and carbokentbrooksite (CAR) are two new minerals of the eudialyte group discovered in Dara-i-Pioz alkaline massif, Tajikistan. They have been found in the quartz core of a zonal pegmatite. Associated minerals are quartz, microcline, aegirine, stillwellite-(Ce), ekanite, polylithionite, pyrochlore, fluorite, calcite and galena. The minerals occur as zonal rhombohedral crystals up to 1—2 cm across size, with the core composed of CAR and the ZIR rim. The color of ZIR is creamy, and CAR is yellow. Other physical properties of the minerals are similar. They are transparent with vitreous luster and white streak; both are brittle, non-fluorescent under UV light. Mohs' hardness 5. Cleavage or parting not observed. Fracture conchoidal. *D* (meas.) is 3.15(2) g/cm^3 for ZIR and 3.14(2) g/cm^3 for CAR. *D* (calc.) is 3.10 g/cm^3 for both minerals. They are uniaxial negative wit ω = 1.648(2), ε = 1.637(2) for ZIR and ω = 1.645(2), ε = 1.635(2) for CAR. They are trigonal, *R*3*m*. For ZIR *a* = 14.248(2) Å, *c* = 30.076(6) Å, *V* = 5288(4) Å^3 And for CAR *a* = 14.239(3) Å, *c* = 30.039(8) Å, *V* = 5288(4) Å^3, *Z* = 3. Strongest XRD lines [*d* in Å (*I*)] for ZIR: 3.220(100), 2.979(95), 2.857(66), 3.166(56), 4.32(51), 3.975(37), and for CAR: 2.849(100), 2.970(83), 3.204(38), 3.155(35), 3.019(34), 2.590(30). Chemical composition of the minerals (ZIR/CAR, wt. %): Na_2O 9.54/10.17, K_2O 0.45/0.51, CaO 10.52/10.61, SrO 1.35/1.42, FeO 1.89/2.22, MnO 5.67/5.41, La_2O_3 2.31/1.79, Ce_2O_3 3.78/2.97, Nd_2O_3 0.82/0.76, Pr_2O_3 0.28/0.24, Y_2O_3 0.47/0.43, SiO_2 45.63/45.55, TiO_2 0.45/0.41, ZrO_2 10.48/11.07, Nb_2O_5 3.76/3.55, Cl 0.32/0.29, H_2O 1.52/1.18, CO_2 0.58/0.78, –O = Cl_2 0.07/0.06, total 99.75/99.30. Empirical formulae were calculated on the base of Si = 25.0, and idealized formulae (*Z* = 3) are: zirsilite-(Ce) — $(Na,\square)_{12}(Ce,Na)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$, and the quite similar for CAR — $(Na,\square)_{12}(Na,Ce)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$. The main difference between these minerals is the dominance of REE(Ce) over Na in N(4) site of ZIR. Comparative data for kentbrooksite, the nearest analogue of the two new minerals, are given. According to the single-crystal analyses, ZIR and CAR are isostructural with kentbrooksite — $Na_{12}(Na,REE)_3(Ca,REE)_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})[O(H_2O)_2]F_2$. Their names reflect their compositional and structural features.

Группа эвдиалита, пережившая в прошлом драматическую дискредитацию всех, за исключением родоначальника, минералов, входивших в нее до 1969 г., и затем вновь возродившаяся около 15 лет назад в виде диады эвдиалит—аллуайвит (Хомяков и др., 1990; Расцветаева и др., 1990), в последние годы резко укрепила свои позиции, пополнившись сразу целой плеядой новых представителей. В настоящее время она объединяет восемь самостоятельных минеральных видов:

1) эвдиалит $Na_{15}Ca_6Fe_3Zr_3Si(Si_{25}O_{73})(O,OH,H_2O)_3(Cl,OH)_2$ (Johnsen, Grice, 1999),
2) аллуайвит $Na_{19}(Ca,Mn)_6(Ti,Nb)_3Si_{26}O_{74}Cl\cdot H_2O$ (Хомяков и др., 1990),
3) кентбруксит $Na_{15}Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(O,OH,H_2O)_3F_2$ (Johnsen e. a., 1998),
4) манганохомяковит $Na_{12}Sr_3Ca_6Mn_3Zr_3W(Si_{25}O_{73})(O,OH,H_2O)_3(OH,Cl)_2$ (Johnsen e. a., 1999a),

[1] Рассмотрено КНМНМ ВМО 10 октября 2001 г. Утверждено КНМНМ ММА 9 января 2003 г.

5) онейллит $Na_{15}Ca_3Mn_3Fe_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(O,OH,H_2O)_3(Cl,OH)_2$ (Johnsen e. a., 1999б),

6) фекличевит $Na_{11}Ca_9(Fe^{3+},Fe^{2+})_2Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH,H_2O,Cl,O)_5$ (Пеков и др., 2001),

7) феррокентбруксит $Na_{15}Ca_6Mn_3Fe_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(O,OH,H_2O)_3(F,Cl)_2$ (Johnsen e. a., 2003),

8) хомяковит $Na_{12}Sr_3Ca_6Fe_3Zr_3W(Si_{25}O_{73})(O,OH,H_2O)_3(OH,Cl)_2$ (Johnsen e. a., 1999a).

Несомненно, рассматриваемая группа будет интенсивно расширяться и в дальнейшем. Это объясняется, с одной стороны, особенностями эвдиалитовой структуры, которая содержит большое число изоморфноемких позиций, а с другой — постоянным совершенствованием дифракционных методов структурного анализа и, как следствие, повышением надежности устанавливаемых с его помощью кристаллохимических формул минералов. В обозначениях, рекомендованных Подкомитетом по эвдиалитам при КНМНМ ММА,[2] состав минералов эвдиалитовой группы может быть схематически описан следующей общей формулой: $[N(1)N(2)N(3)N(4)N(5)]_3[M(1a)M(1b)M(2)]_3M(3)M(4)Z_3[Si_{24}O_{72}]O'_4X_2$, где позиции $N(1)$—$N(5)$, как правило, заселены Na; некоторые из них прежде всего наиболее изоморфноемкая $N(4)$, могут быть заселены также REE, Sr, Ca, Mn, K, H_3O^+; $M(1a)$ и $M(1b)$ = Ca, Mn, Fe^{2+}, REE, Y, Na; $M(2)$ = Fe^{2+}, Fe^{3+}, Na, H_3O^+; $M(3)$ = Nb, W, Ti, Mn, Si. $M(4)$ = Si; Z = Zr, Ti. O' = O, OH, H_2O; X = Cl, F, H_2O, O, OH, CO_3, SO_4. N-, M- и X-позиции обычно расщеплены на подпозиции, дополняющие друг друга по заселенности.

Все известные эвдиалиты являются ромбоэдрическими и принадлежат к одной из следующих пространственных групп: $R3m$, $R\bar{3}m$ или $R3$. Почти все они описываются тригональной ячейкой с типовыми параметрами $a \approx 14.2$, $c \approx 30.0$ Å. Ячейка отдельных высокоупорядоченных эвдиалитов отличается от типовой удвоенным c-периодом (Расцветаева, Хомяков, 2003; Khomyakov, 2002a, б). Основа структурного мотива эвдиалита представлена ажурным каркасом $\{M(1a,b)_6Z_3[T_{24}O_{72}]\}$, в полостях которого локализуются внекаркасные катионы, анионы и молекулы воды. Каркас образован (001) слоями, чередующимися вдоль оси c в последовательности $TZTM$... T-слои представлены взаимно изолированными кольцами $[Si_9O_{27}]$ и $[Si_3O_9]$, Z-слои — дискретными Zr- и/или Ti-октаэдрами и M-слои — 6-членными кольцами из Ca- и более сложных по составу октаэдров. Широкий изоморфизм элементов в большинстве внекаркасных и части каркасных (M, Z) позиций выдвигает группу эвдиалита в разряд уникальных по числу потенциально возможных минеральных видов.

Авторами изучены два новых минерала группы эвдиалита, близких друг другу по кристаллохимическим особенностям, но существенно отличающихся в этом отношении от известных аналогов. Эти минералы, названные с учетом особенностей их химического состава **цирсилитом-(Ce)** $(Na,\square)_{12}(Ce,Na)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$ и **карбокентбрукситом** $(Na,\square)_{12}(Na,Ce)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$, оказались первыми карбонатными представителями данной группы, а цирсилит-(Ce) — еще и ее первым собственно редкоземельным представителем.[3] Оба минерала встречены одним из авторов (А. П. Х.) в щелочном массиве Дара-и-Пиоз (Сев. Таджикистан), в ранее описанной коллекции необычных образцов эвдиалита (эвколита) из парагенезиса с кварцем (Хомяков и др., 1975).

---

[2] O. Johnsen, G. Ferraris, Gault R. A., Grice J. D., Kampf A. R., Pekov I. V. Nomenclature of eudialyte-group minerals (неопубликованное сообщение КНМНМ ММА от 1 августа 2002 г.).

[3] В утвержденных названиях минералов корневые части символизируют принадлежность цирсилита-(Ce) к цирконосиликатам и тесное родство карбокентбруксита с кентбрукситом; суффикс «(Ce)» в первом названии и приставка «карбо» во втором подчеркивают редкоземельную (с цериевым максимумом) и карбонатную специфику состава минералов соответственно. Присвоение минералам более тесно связанных названий оказалось невозможным из-за ограничений в правилах минералогической номенклатуры (Nickel, Grice, 1998), согласно которым пары родственных минералов, один из которых является собственно редкоземельным, не могут иметь одинаковое корневое название.

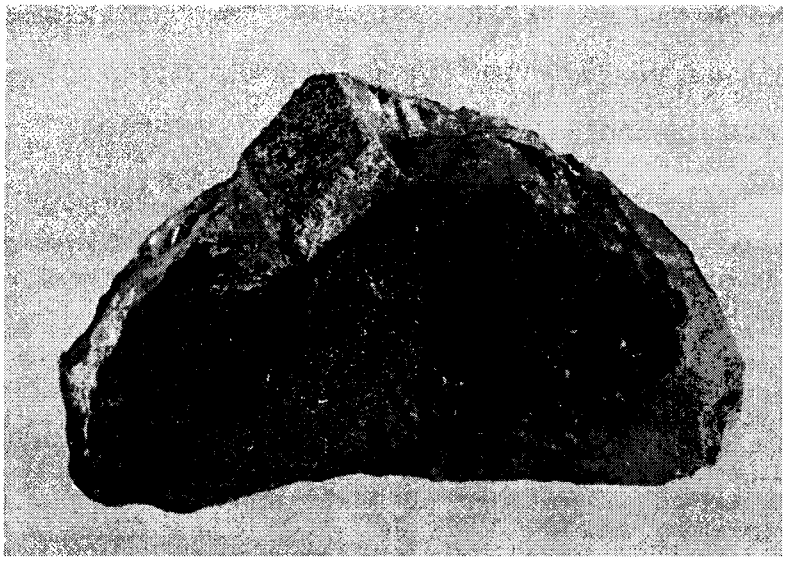


Рис. 1. Кристалл измененного эвдиалита в матрице кварца (*светлое*) и эгирина (*темное*) из пегматита массива Дара-и-Пиоз. Нат. вел.

Fig. 1. Crystal of altered eudialyte in groundmass of quartz (light) and aegirine (dark) from a pegmatite in the Dara-i-Pioz massif. Natural size.

Эвдиалитовая минерализация массива Дара-и-Пиоз приурочена к жильным и шлировидным телам дифференцированных пегматитов, залегающих в эгирин-кварцевых сиенитах южной части массива (Дусматов, 1971; Хомяков и др., 1975). От контакта с вмещающими породами в пегматитах наблюдается последовательная смена зон от меланократовой эгириновой через эгирин-кварц-полевошпатовую к зоне блокового микроклина и, наконец, к кварцевому ядру. Широко проявлены комплек-

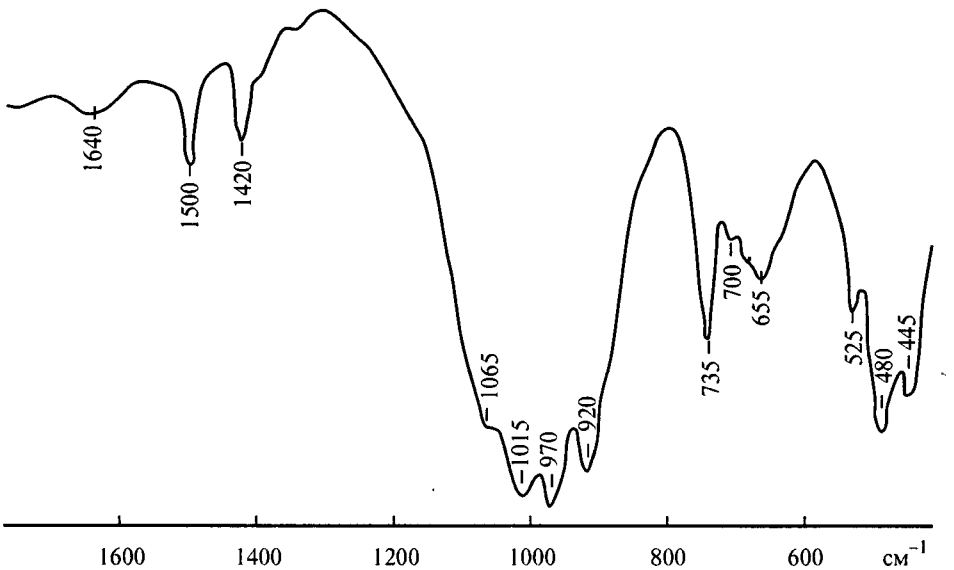


Рис. 2. Инфракрасный спектр поглощения цирсилита-(Ce).

Fig. 2. Infrared absorption spectrum of zirsilite-(Ce).

Таблица 1

Сравнение цирсилита-(Ce) и карбокентбруксита с кентбрукситом

Comparison of zirsilite-(Ce) and carbokentbrooksite with kentbrooksite

Формула	Цирсилит-(Ce)*	Карбокентбруксит*	Кентбруксит**
	$(Na,\square)_{12}(Ce,Na)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$	$(Na,\square)_{12}(Na,Ce)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$	$(Na,REE)_{15}(Ca,REE)_6Mn_3Zr_3NbSi_{25}O_{74}F_2\cdot 2H_2O$
Пространственная группа	*R*3*m*	*R*3*m*	*R*3*m*
a (Å)	14.248	14.239	14.169
c (Å)	30.076	30.039	30.085
V (Å)	5228	5274	5230.3
Z	3	3	3
D (г/см^3)	3.15	3.14	3.08
Интенсивные линии на рентгенограмме порошка: *d* in Å (*I*)(*hkl*)	6.46(28)(−114) 4.32(51)(−225) 3.975(37)(−234) 3.536(33)(027) 3.220(100)(−228) 3.166(56)(−237) 2.979(95)(−345) 2.857(66)(−444) 2.597(34)(039) 2.155(31)(−4.4.10)	6.39(25)(−114) 4.30(24)(−225) 3.394(23)(−141) 3.204(38)(−228) 3.176(21)(−336) 3.155(35)(−237) 3.019(34)(−129, 042) 2.970(83)(−345) 2.849(100)(−444) 2.590(30)(039)	11.385(43)(101) 7.088(41)(110) 5.682(30)(202) 4.295(34)(205) 3.380(37)(131) 3.205(22)(2088) 3.152(25)(217) 2.961(91)(315) 2.839(100)(404) 2.587(22)(039)
Оптический знак	(−)	(−)	(−)
n_o	1.648	1.645	1.628
n_e	1.637	1.635	1.623
Цвет	Кремовый	Желтый	Желто-коричневый

Примечание. * Данные настоящей работы; ** по данным публикации (Johnsen e. a., 1998).

сы замещения — альбит-арфведсонитовый, кварц-полилитионитовый и карбонатный. Среди акцессорных минералов отмечены опатит, титанит, циркон, стиллуэллит-(Ce), ридмерджнерит, полилитионит, бафертисит, цезийкуплетскит, пирохлор, таджикит-(Ce), тяньшанит, согдианит, дарапиозит, баратовит и др.

Эвдиалит — сравнительно широко распространенный минерал пегматитовых тел — приурочен к зонам блокового микроклина и кварца. Образует ромбоэдрические кристаллы диаметром от 0.5 до 10 см с четко выраженными формами $\{10\bar{1}1\}$, $\{10\bar{1}2\}$, $\{01\bar{2}0\}$ и $\{0001\}$ (рис. 1). Основная часть кристаллов замещена тонкозернистым агрегатом продуктов изменения, не поддающихся надежной диагностике. Хорошо сохранившиеся кристаллы обычно неоднородны по окраске и оптическим свойствам, часто зональны, и их изучение с применением современных высокоразрешающих методов представляет большой интерес в генетическом и других аспектах.

В предыдущем исследовании, основанном на результатах мокрых химических анализов (Хомяков и др., 1975), были получены лишь самые общие сведения о дараипиозском эвдиалите, который был квалифицирован как эвколит, аномально обогащенный REE, Mn и Nb. Позднее первым автором была выявлена еще одна специфическая особенность дараипиозского эвдиалита — его аномальная обогащенность анионом $(CO_3)^{2-}$, зафиксированная методом ИК-спектроскопии в образцах из нескольких разных пегматитовых тел. Это позволило предположить, а затем и доказать существование в природе карбонатных аналогов эвдиалита с самостоятельной ролью CO_3-аниона в их кристаллической структуре (Gula e. a., 2001).

Полученные авторами данные о составе, структуре и свойствах описываемых минералов сведены в табл. 1—5, где они сопоставлены с соответствующими характеристиками их ближайшего кристаллохимического аналога кентбруксита.

Условия нахождения, морфология, физические и оптические свойства

Цирсилит-(Ce) и карбокентбруксит установлены в зоне блокового микроклина и кварца одного из тел эвдиалитоносных пегматитов с акцессорными стиллуэллитом-(Ce), эканитом, дарапиозитом, полилитионитом, титанитом, пирохлором, флюоритом и наложенной минерализацией, представленной гнездами кальцит-галенит-кварцевого состава. Оба минерала найдены во взаимных срастаниях в зональных кристаллах диаметром около 1—2 см, по форме соответствующих описанному выше морфологическому типу (см. рис. 1).

В изученных кристаллах четко различаются их основная внутренняя часть, сложенная карбокентбрукситом, и тонкая, шириной от 0.5 до 2 мм внешняя оторочка, сложенная цирсилитом-(Ce). Обе части отделены друг от друга резкой границей, фиксируемой по смене окраски минералов — ярко-желтой, реже розовато-желтой, характерной для карбокентбруксита, на светло-кремовую, характерную для цирсилита-(Ce). По остальным физическим свойствам описываемые минералы практически не отличимы друг от друга. Оба они прозрачные, с сильным стеклянным блеском, раковистым изломом; медленно разлагаются и желатинируют в подогретых кислотах; в ультрафиолетовых лучах не люминесцируют. Хрупкие. Твердость 5 по шкале Мооса. Плотность, определенная микрообъемным методом (по В. В. Василевскому), равна 3.15(2) г/см^3 у цирсилита-(Ce) и 3.14(2) г/см^3 у карбокентбруксита; плотность вычисленная для эмпирических формул каждого минерала, равна 3.10 г/см^3. Оба минерала оптически одноосные, отрицательные. Показатели преломления измерены иммерсионным методом: для цирсилита-(Ce) n_o = 1.648(2), n_e = 1.637(2), для карбокентбруксита n_o = 1.645(2), n_e = 1.637(2). Найденные значения показателей преломления и двупреломление 0.010—0.011 являются одними из самых высоких среди известных для эвдиалитов по литературным данным.

ИК-спектры описываемых минералов идентичны друг другу по набору полос поглощения (подчеркнуты более интенсивные): <u>445</u>, <u>480</u>, 525, <u>655</u>, 700, <u>735</u>, <u>920</u>, <u>970</u>, <u>1015</u>, 1065, <u>1420</u>, <u>1500</u>, 1640 см$^{-1}$. В качестве иллюстрации (рис. 2) приведен ИК-спектр цирсилита-(Ce), характеризующийся несколько более интенсивными, чем у карбокентбруксита, полосами 1420 и 1500 см$^{-1}$, обусловленными присутствием в минералах аниона $(CO_3)^{2-}$. По набору остальных полос ИК-спектры цирсилита-(Ce) и карбокентбруксита близки к спектрам минералов эвдиалитовой группы со слабо заселенной *M* (2,4)- и существенно заселенной *M* (2,5)-позициями, что подтверждается результатами структурных расшифровок (см. ниже). Наличие в ИК-спектрах слабой полосы 1640 см$^{-1}$ согласуется со структурными данными о присутствии в минералах молекул воды и групп (OH).

Химический состав минералов определен с помощью электронно-зондового микроанализатора Superprobe JXA-733 при следующих условиях: ускоряющее напряжение 15 кВ, сила тока 20 нА, диаметр пучка 5 мкм. Стандарты: чкаловит (Na), диопсид (Ca, Si), альмандин (Fe), родонит (Mn), $K_2ZrSi_2O_7$(K,Zr),$SrTiO_3$(Sr, Ti),$LiNbO_3$(Nb), LaF_3(La), CeF_3(Ce)PrF_3(Pr), NdF_3(Nd)Y_2SiO_5(Y),K_2ReCl_6(Cl). Дополнительно методами мокрой химии в каждом минерале были определены содержания воды и углекислоты.

Полученные результаты (табл. 2) выявили большую близость составов цирсилита-(Ce) и карбокентбруксита, существенно различающихся лишь по содержаниям оксидов Na и REE. Пересчет этих результатов на эмпирические формулы выполнен с учетом обсуждаемых ниже структурных данных и в соответствии с общими рекомендациями Подкомитета по эвдиалитам при КНМНМ ММА (см. прим. 2). Расчет формульных количеств элементов проведен на Si_{25}(Z = 3) с учетом полной заселен-

Таблица 2

Химический состав минералов

Chemical composition of the minerals

Компонент	Цирсилит-(Ce)		Карбокентбруксит	
	Мас. %	Si = 25	Мас. %	Si = 25
Na_2O	9.54(8.97—9.72)	10.13	10.17(9.75—10.22)	10.82
K_2O	0.45(0.42—0.49)	0.32	0.51(0.46—0.56)	0.36
CaO	10.52(10.43—10.83)	6.18	10.61(10.53—10.68)	6.24
SrO	1.35(1.30—1.43)	0.43	1.42(1.40—1.45)	0.45
FeO	1.89(1.81—1.97)	0.87	2.22(2.12—2.31)	1.02
MnO	5.67(5.60—5.91)	2.63	5.41(5.35—5.47)	2.52
La_2O_3	2.31(2.07—2.45)	0.47	1.79(1.72—1.90)	0.36
Ce_2O_3	3.78(3.67—3.94)	0.76	2.97(2.92—3.07)	0.60
Pr_2O_3	0.28(0.25—0.34)	0.06	0.24(0.20—0.27)	0.05
Nd_2O_3	0.82(0.72—0.86)	0.16	0.76(0.63—0.85)	0.15
Y_2O_3	0.47(0.45—0.54)	0.14	0.43(0.40—0.48)	0.12
SiO_2	45.63(45.43—46.24)	25.0	45.55(45.14—46.02)	25.0
TiO_2	0.45(0.42—0.48)	0.18	0.41(0.38—0.44)	0.17
ZrO_2	10.48(10.34—10.75)	2.80	11.07(10.99—11.13)	2.96
Nb_2O_5	3.76(3.60—3.88)	0.93	3.55(3.46—3.61)	0.88
Cl	0.32(0.27—0.35)	0.30	0.29(0.28—031)	0.27
H_2O^*	1.52	5.54	1.18	4.32
CO_2^*	0.58	0.43	0.78	0.58
$-O=Cl_2$	0.07		0.06	
Сумма	99.75		99.30	

Примечание. Микрозонд. Аналитик Г. Н. Нечелюстов. Среднее из состава пяти зерен для каждого минерала, в скобках — пределы вариаций.* H_2O и CO_2 определены методами мокрой химии (аналитик С. П. Пурусова).

ности позиции [$M(4) + M(4)'$] атомами кремния (табл. 5). Результатам пересчета соответствуют следующие эмпирические формулы:

цирсилит-(Ce): $(Na_{9.01}Ca_{0.82}K_{0.32})_{\Sigma 10.15}[(La_{0.47}Ce_{0.76}Pr_{0.06}Nd_{0.16})_{\Sigma 1.45}Na_{1.12}Sr_{0.43}]_{\Sigma 3}(Ca_{5.36}Mn_{0.50}Y_{0.14})_{\Sigma 6}(Mn_{2.13}Fe_{0.87})_{\Sigma 3}(Zr_{2.80}Ti_{0.18})_{\Sigma 2.98}Nb_{0.93}Si_{25}H^{+}_{5.54}(CO_3)_{0.43}Cl_{0.30}$;

карбокентбруксит: $(Na_{9.43}Ca_{0.90}K_{0.36})_{\Sigma 10.69}[Na_{1.39}(La_{0.36}Ce_{0.60}Pr_{0.05}Nd_{0.15})_{\Sigma 1.16}Sr_{0.45}]_{\Sigma 3}(Ca_{5.34}Mn_{0.54}Y_{0.12})_{\Sigma 6}(Mn_{1.98}Fe_{1.02})_{\Sigma 3}(Zr_{2.96}Ti_{0.04})_{\Sigma 3}(Nb_{0.08}Ti_{0.13})_{\Sigma 1.01}Si_{25}H^{+}_{4.32}O_{77.64}(CO_3)_{0.58}Cl_{0.27}$.

Упрощение эмпирических формул проведено с учетом частичной вакантности N-позиций и локализации анионов $(CO_3)^{2-}$ только в одной из двух независимых X-позиций при заселенности другой молекулами воды. Идеализированные формулы цирсилита-(Ce) и карбокентбруксита могут быть представлены соответственно в виде (REE = Ce): $(Na,\square)_{12}(Ce,Na)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$ и $(Na,\square)_{12}(Na,Ce)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$.

Рентгенографический и рентгеноструктурный анализ

Рентгенограммы порошка цирсилита-(Ce) и карбокентбруксита (табл. 3 и 4) индивидуальны как по числу отражений, так и по интенсивности соответствующих

Таблица 3

Результаты расчета рентгенограммы порошка цирсилита-(Ce) (*d*, в Å)

X-ray powder diffraction data for zirsilite-(Ce) (*d*, in Å)

$I_{изм}$	$I_{выч}$	$d_{изм}$	$d_{выч}$	*hkl*	$I_{изм}$	$I_{выч}$	$d_{изм}$	$d_{выч}$	*hkl*	$I_{изм}$	$I_{выч}$	$d_{изм}$	$d_{выч}$	*hkl*
17	100	11.53	11.42	−111	66	80	2.857	2.854	−444	7	6	1.918	1.917	−14$\underline{13}$
12	29	10.14	10.03	003	5	8	2.784	2.782	−252	3	3	1.868	1.867	−672
18	55	9.58	9.54	012	22	11	2.708	2.703	02$\underline{10}$	22	6	1.838	1.838	−276
8	23	7.18	7.12	−120				2.693	−150		5		1.834	−477
28	27	6.46	6.42	−114	10	6	2.676	2.677	−147	6	3	1.801	1.802	03$\underline{15}$
11	14	6.08	6.04	021	16	14	2.654	2.649	−354		3		1.795	−675
18	23	5.72	5.71	−222	34	28	2.597	2.594	039	24	20	1.786	1.781	−480
4	2	5.43	5.41	015		5		2.594	−339	23	3	1.782	1.774	−46$\underline{11}$
5	6	5.02	5.01	006	18	9	2.533	2.531	−348	17	10	1.765	1.763	04$\underline{14}$
4	2	4.77	4.77	024		10		2.528	−23$\underline{10}$	6	3	1.750	1.747	−24$\underline{15}$
51	21	4.32	4.31	−225	8	2	2.512	2.506	−447	7	5	1.716	1.716	−774
18	13	4.11	4.10	−126		4		2.506	00$\underline{12}$	8	4	1.690	1.692	075
37	28	3.975	3.963	−234	13	8	2.375	2.372	−156	4	4	1.629	1.627	−12$\underline{18}$
15	11	3.814	3.807	−333		8		2.375	−360	17	13	1.608	1.605	−44$\underline{16}$
	4		3.805	033	7	10	2.325	2.325	−261	5	6	1.596	1.595	−17$\underline{10}$
6	7	3.696	3.686	−135	6	3	2.263	2.261	−258	5	4	1.592	1.590	−687
12	7	3.601	3.596	018		6		2.210	−561	6	7	1.567	1.566	−35$\underline{16}$
14	18	3.569	3.562	−240	4	8	2.194	2.192	−162	9	4	1.546	1.546	−594
33	22	3.536	3.526	027	5	5	2.176	2.174	−465	8	5	1.543	1.542	−16$\underline{14}$
22	48	3.407	3.400	−141	31	10	2.155	2.153	−44$\underline{10}$	11	7	1.482	1.481	−58$\underline{11}$
11	9	3.345	3.337	−342	24	4	2.140	2.140	057	6	1	1.433	1.432	00$\underline{21}$
100	43	3.220	3.210	−228		9		2.136	−34$\underline{11}$		1		1.431	−13$\underline{20}$
	18		3.180	−336	16	10	2.126	2.126	−564	4	4	1.405	1.404	−195
56	43	3.166	3.160	−237		6		2.116	01$\underline{14}$	6	3	1.347	1.346	−2$\underline{10}$0
2	5	3.116	3.115	−144	10	7	2.064	2.061	−35$\underline{10}$		4		1.344	−4$\underline{10}$7
95	87	2.979	2.974	−345	8	6	2.052	2.049	−267	5	1	1.334	1.335	02$\underline{22}$
8	6	2.934	2.927	−138	4	4	2.025	2.024	−471	5	3	1.269	1.269	−4$\underline{11}$3
22	18	2.908	2.904	−246	23	16	1.983	1.982	−468					
						11		1.936	−369					

Примечание. Условия съемки: дифрактометр Дрон-3, Cu K_{α_1}-излучение.

рефлексов, включая наиболее сильные (табл. 1), хотя по общему характеру они подобны рентгенограммам других членов группы эвдиалита. Многие различия рентгенограмм могут быть связаны, однако, не столько с особенностями самих минералов, сколько с различной техникой получения экспериментальных данных. Так, значительно большее число отражений на рентгенограмме карбокентбруксита, очевидно, обусловлено более высокой разрешающей способностью дифрактометра Philips X'-Pert в сравнении с ДРОН-3М, использованным для получения рентгенограммы цирсилита-(Ce). Параметры элементарных ячеек минералов, вычисленные из порошковых рентгенограмм, имеют следующие значения: цирсилит-(Ce): a = 14.29(1) Å, c = 30.02(4) Å, V = 5306(9) Å^3; карбокентбруксит: a = 14.237(2) Å, c = 30.033(5) Å, V = 5272(4) Å^3. В целом они весьма

Таблица 4

Результаты расчета рентгенограммы порошка карбокентбруксита (*d*, в Å)

X-ray powder diffraction data for carbokentbrooksite (*d*, in Å)

$I_{изм}$	$I_{выч}$	$d_{изм}$	$d_{выч}$	*hkl*	$I_{изм}$	$I_{выч}$	$d_{изм}$	$d_{выч}$	*hkl*	$I_{изм}$	$I_{выч}$	$d_{изм}$	$d_{выч}$	*hkl*
20	100	11.53	11.42	−111	3	1	2.272	2.274	−1113	4	6	1.595	1.595	−1710
9	29	9.95	10.03	003	3	3	2.260	2.261	−258	4	4	1.589	1.590	−687
15	55	9.51	9.54	012	3	2	2.256	2.259	−1410	3	4	1.579	1.580	−4614
6	23	7.10	7.12	−120	2	6	2.209	2.210	−561	2	3	1.571	1.571	−492
25	27	6.39	6.42	−114	4	8	2.191	2.192	−162	6	7	1.565	1.566	−3516
8	14	6.03	6.04	021	3	5	2.173	2.174	−465	5	5	1.551	1.555	−390
18	23	5.69	5.71	−222	23	10	2.151	2.153	−4410		4		1.552	−5712
2	2	5.39	5.41	015	13	2	2.145	2.146	−366	4	4	1.546	1.546	−594
5	6	5.00	5.01	006	23	4	2.134	2.140	057	4	5	1.542	1.542	−1614
1	2	4.76	4.77	024		9		2.136	−3411	3	3	1.534	1.534	−882
1	3	4.60	4.61	−231	8	10	2.127	2.126	−564	6	3	1.524	1.525	−4713
24	21	4.30	4.31	−225	10	6	2.114	2.116	0114	1	1	1.511	1.511	084
16	13	4.09	4.10	−126	10	1	2.094	2.097	−459	1	1	1.505	1.506	−291
3	4	4.04	4.06	−117		2		2.097	−159	2	3	1.499	1.500	−792
20	28	3.955	3.963	−234	2	3	2.079	2.097	−165	2	2	1.495	1.495	0516
14	11	3.797	3.805	−333	7	7	2.059	2.061	−3510	4	1	1.487	1.487	−6810
	4		3.805	033	7	6	2.048	2.049	−267	8	7	1.481	1.481	−5811
4	7	3.678	3.686	−135	5	1	2.043	2.046	0411	4	3	1.477	1.478	−294
14	7	3.590	3.596	018	4	4	2.023	2.024	−471	3	4	1.474	1.475	−3714
9	18	3.560	3.562	−240	2	2	2.004	2.005	0015	2	1	1.468	1.468	−789
18	22	3.520	3.526	027	14	16	1.980	1.982	−468	3	3	1.463	1.463	−2616
23	48	3.394	3.400	−141	9	3	1.975	1.976	−270	2	2	1.459	1.456	−498
7	9	3.333	3.337	−342		1		1.970	−567	1	1	1.451	1.452	−4812
38	43	3.204	3.210	−228	2	2	1.957	1.958	−474	3	2	1.435	1.436	−6615
21	18	3.176	3.180	−336	3	3	1.948	1.951	−1314	4	1	1.433	1.432	0021
35	43	3.155	3.160	−237	6	11	1.934	1.936	−360		1		1.431	−1320
3	5	3.113	3.115	−144	4	6	1.914	1.917	−1413	4	3	1.426	1.427	−888
2	2	3.066	3.069	−441	11	10	1.901	1.903	−666		4		1.425	−5100
34	18	3.019	3.025	−129	1	2	1.877	1.878	−171	2	1	1.422	1.422	−297
	12		3.022	042	3	3	1.866	1.867	−672	2	3	1.413	1.414	−4101
83	87	2.970	2.974	−345	2	3	1.856	1.858	−1116	2	2	1.409	1.409	−6102
6	6	2.921	2.927	−138	5	5	1.841	1.843	−2610	4	4	1.406	1.404	−195
12	18	2.900	2.904	−246	13	6	1.833	1.838	−276	3	1	1.402	1.402	−7713
100	80	2.849	2.854	−444		5		1.834	−477	1	2	1.387	1.387	−7101
3	8	2.778	2.782	−252	6	3	1.796	1.802	0315	2	1	1.383	1.382	−3102
3	4	2.741	2.745	045		3		1.795	−675	3	7	1.371	1.370	−5106
11	11	2.699	2.703	0210	5	3	1.790	1.791	−3513	1	1	1.362	1.363	0714
11	8	2.692	2.693	−150	9	20	1.781	1.781	−480	9	5	1.351	1.352	0420
7	6	2.673	2.677	−147	8	3	1.772	1.774	−4611		3		1.352	0321
11	14	2.646	2.649	−354	8	10	1.762	1.763	0414	5	3	1.348	1.346	−2100
30	28	2.590	2.594	039	6	3	1.758	1.760	−381	3	4	1.344	1.344	−4107
	5		2.594	−339	3	3	1.746	1.747	−2415	2	2	1.337	1.338	−2814

Таблица 4 (*продолжение*)

$I_{изм}$	$I_{выч}$	$d_{изм}$	$d_{выч}$	*hkl*	$I_{изм}$	$I_{выч}$	$d_{изм}$	$d_{выч}$	*hkl*	$I_{изм}$	$I_{выч}$	$d_{изм}$	$d_{выч}$	*hkl*
1	2	2.557	2.561	−255	3	4	1.723	1.724	−36$\underline{12}$	3	1	1.333	1.335	02$\underline{22}$
15	9	2.524	2.531	−348	4	5	1.715	1.716	−774	3	2	1.329	1.329	−24$\underline{21}$
	10		2.528	−23$\underline{10}$	6	2	1.710	1.711	−25$\underline{14}$	2	2	1.324	1.325	−61$\underline{08}$
8	2	2.504	2.506	−447	3	2	1.706	1.708	−681	3	1	1.321	1.322	096
	4		2.506	00$\underline{12}$	4	5	1.699	1.700	−282		1		1.321	−71$\underline{07}$
3	8	2.459	2.460	051	2	4	1.692	1.692	075	2	2	1.296	1.297	06$\underline{18}$
3	2	2.435	2.437	−249	4	3	1.681	1.682	−47$\underline{10}$	2	2	1.287	1.289	−91$\underline{02}$
6	6	2.383	2.385	048	6	13	1.677	1.678	−486	1	1	1.284	1.283	08$\underline{13}$
9	8	2.370	2.372	−156	4	3	1.645	1.646	−285	1	1	1.274	1.275	−61$\underline{14}$
	8		2.375	−360	5	4	1.642	1.642	−26$\underline{13}$	3	3	1.269	1.269	−41$\underline{13}$
5	10	2.323	2.325	−261	3	4	1.625	1.627	−12$\underline{18}$	1	2	1.252	1.253	00$\underline{24}$
4	5	2.309	2.311	−363	11	13	1.604	1.605	−44$\underline{16}$	2	1	1.248	1.249	−21$\underline{09}$
2	2	2.280	2.283	−555						2	2	1.243	1.244	−16$\underline{20}$

Примечание. Условия съемки: порошковый дифрактометр высокого разрешения Philips X'Pert, Cu K_α-излучение.

близки к параметрам, полученным на основе монокристальных данных (см. ниже).

Для каждого из описываемых минералов проведено монокристальное рентгеноструктурное исследование, по итогам которого подготовлено отдельное сообщение. Структуры решены на основе массивов отражений, полученных с помощью дифрактометров Nonius Kappa с детектором CCD [цирсилит-(Ce), 4297 независимых отражений, R = 2.6 %] и Siemens P4 (карбокентбруксит, 1929 независимых отражений, R = 2.6 %). По монокристальным данным определены следующие параметры элементарной ячейки: цирсилит-(Ce): a = 14.248(2) Å, c = 30.076(6) Å, V = = 5288(4) Å^3, Z = 3; карбокентбруксит: a = 14.239(3) Å, c = 30.039(8) Å, V = = 5274(4) Å^3, Z = 3. Результаты структурных расшифровок отражены в табл. 5, дополненной сравнительными данными о кентбруксите. В наглядной форме они представлены на рис. 3 (см. вклейку), где структурные позиции обозначены в соответствии с общей формулой эвдиалитов, приведенной в начале статьи; из расщепленных позиций на рисунке показаны только более заселенные или более выразительные.

Анализ полученных авторами результатов с учетом имеющихся литературных данных по кристаллохимии эвдиалитов приводит к следующим заключениям.

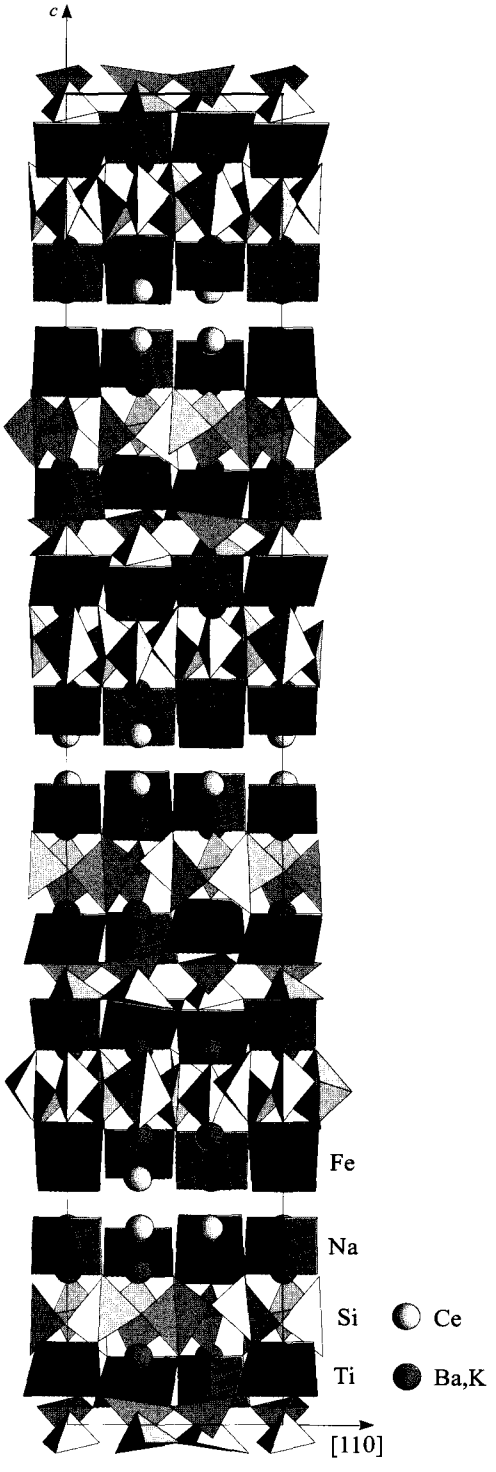
1. Цирсилит-(Ce) и карбокентбруксит (настоящая работа) и их аналог кентбруксит (Johnsen e. a., 1998) имеют в целом одинаковую кристаллическую структуру, несколько изменяющуюся при переходе от минерала к минералу главным образом за счет нюансов в расщеплениях отдельных позиций. Различия между сопоставляемыми минералами определяются прежде всего составом атомов, заселяющих позиции $N(4)$, $X(1)$ и $X(2)$, что подтверждается данными табл. 5 и прямо следует из сравнения идеализированных формул минералов:

цирсилит-(Ce): $(Na,\square)_{12}(Ce,Na)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$,

карбокентбруксит: $(Na,\square)_{12}(Na,Ce)_3Ca_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(OH)_3(CO_3)\cdot H_2O$,

кентбруксит: $Na_{12}(Na,REE)_3(Ca,REE)_6Mn_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})[O(H_2O)_2]F_2$.

2. Общей особенностью цирсилита-(Ce) и карбокентбруксита является резко выраженная контрастность в составе атомов, заселяющих независимые позиции $X(1)$ и $X(2)$: первая из них — C-доминантная — координируется тремя атомами кислорода (позиция *OA* вблизи тройных осей, отстоящая от атома углерода на 1.28 Å) с образованием карбонатной группы $(CO_3)^{2-}$, а вторая целиком заселена молекулами



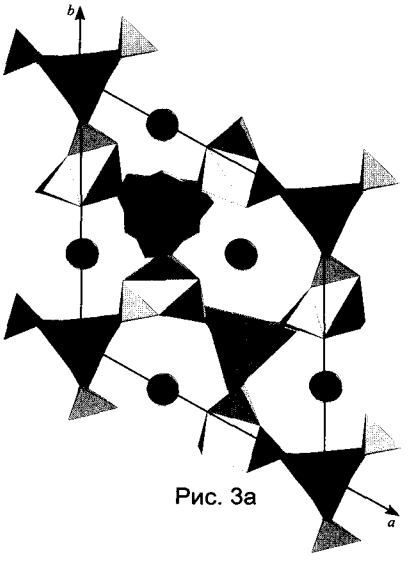


Рис. 3а

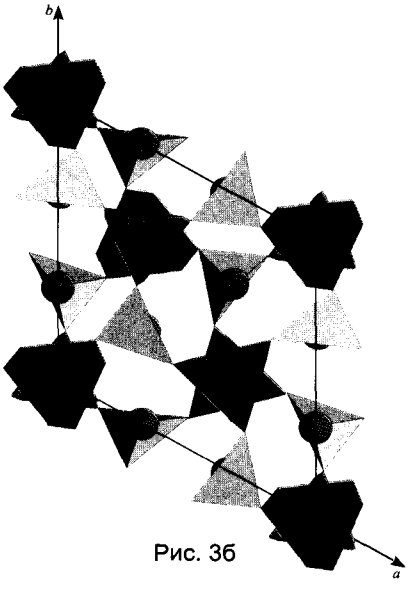


Рис. 3б

Рис. 3. Фрагменты структуры диверсилита-(Ce) в проекции на плоскость (001).

а — трехслойный пакет из октаэдров и призм, объединенных кольцами [Si3O9]; *б* — пакет из октаэдров и призм, объединенных дискретными тетраэдрами [SiO3OH]. Обозначения те же, что и на рис. 2.

Fig. 3. Fragments of the diversilite-(Ce) structure projected onto the (001) plane: (*a*) a three-layer packet composed of octahedra and prisms linked via the [Si3O9] rings; (*б*) a packet composed of octahedra and prisms linked via discrete [SiO3OH] tetrahedra. Symbols as in Fig. 2.

Рис. 2. Кристаллическая структура диверсилита-(Ce) в проекции на плоскость (110).

Кружками показаны крупные катионы.

Fig. 2. Crystal structure of diversilite-(Ce) projected onto the (110) plane. *Circles* represent large cations.

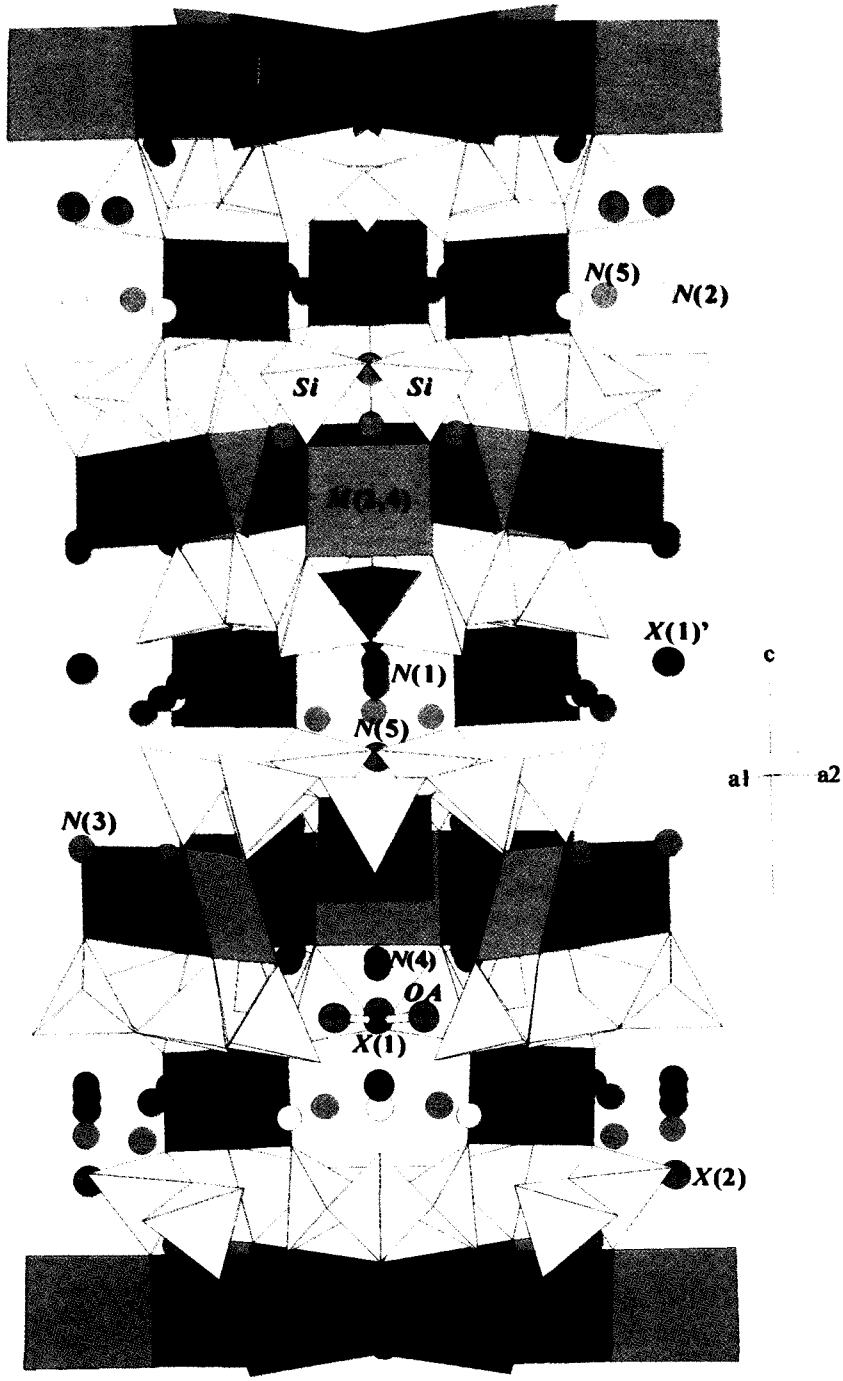


Рис. 3. Кристаллическая структура цирсилита-(Ce) и карбокентбруксита. Обозначены обсуждаемые в тексте позиции.
Fig. 3. Crystal structure of zirsilite-(Ce) and carbokentbrooksite; the labeled sites are discussed in text.

Таблица 5

Заселенность ключевых позиций (apfu) в структурах минералов

Occupancy of the key sites (apfu) in the mineral structures

Позиция	Цирсилит-(Ce)*	Карбокентбруксит*	Кентбруксит**
$N(1)^{а,б}$	$Na_{2.68}$	$Na_{2.41}$	$Na^{в}_{12.46}$
$N(2)$	$(Na_{2.27}Ca_{0.42}K_{0.17})_{\Sigma 2.89}$	$(Na_{2.31}Ca_{0.45}K_{0.18})_{\Sigma 2.94}$	
$N(3)^{б}$	$(Na_{2.12}Ca_{0.40}K_{0.15})_{\Sigma 2.67}$	$(Na_{2.37}Ca_{0.45}K_{0.18})_{\Sigma 3}$	
$N(4)^{а}$	$[(La_{0.47}Ce_{0.76}Pr_{0.06}Nd_{0.16})_{S1.45}Na_{1.12}Sr_{0.43}]_{\Sigma 3}$	$[Na_{1.39}(La_{0.36}Ce_{0.60}Pr_{0.05}Nd_{0.15})_{S1.16}Sr_{0.45}]_{\Sigma 3}$	$(Na_{1.69}REE_{0.44}Y_{0.42}K_{0.30}Sr_{0.15})_{\Sigma 3}$
$N(5)$	$Na_{1.94}$	$Na_{2.34}$	
$M(1)$	$(Ca_{5.36}Mn_{0.50}Y_{0.14})_{\Sigma 6}$	$(Ca_{5.34}Mn_{0.54}Y_{0.12})_{\Sigma 6}$	$(Ca_{3.27}Mn_{1.78}REE_{0.62}Na_{0.33})_{\Sigma 6}$
$M(2)^{а,б}$	$(Mn_{2.13}Fe_{0.87})_{\Sigma 3}$	$(Mn_{1.98}Fe_{1.02})_{\Sigma 3}$	$(Mn_{1.90}Fe_{0.79}Al_{0.13}Mg_{0.05})_{\Sigma 2.87}$
$M(3)$	$Nb_{0.93}$	$(Nb_{0.88}Ti_{0.13})_{\Sigma 1.01}$	$(Nb_{0.55}Ti_{0.10}Zr_{0.12})_{\Sigma 0.77}$
$M(4)^{а,б}$	Si	Si	Si
Z	$(Zr_{2.80}Ti_{0.18})_{\Sigma 2.98}$	$(Zr_{2.96}Ti_{0.04})_{\Sigma 3}$	$(Zr_{2.81}Ti_{0.13}Hf_{0.06})_{\Sigma 3}$
$O(20)^{а}$	O	O	$O_{0.93}$
$X(1)^{а,б}$	$C_{0.43}Cl_{0.30}$	$C_{0.58}Cl_{0.27}$	$F_{1.51}(OH)_{1.17}Cl^{г}_{0.27}$
$X(2)^{б}$	O	O	

Примечание. [а] Позиции, расщепленные в структурах цирсилита-(Ce) и карбокентбруксита; [б] позиции, расщепленные в структуре кентбруксита; [в] суммарная заселенность позиций $N(1) + N(2) + N(3) + N(5)$; [г] суммарная заселенность позиций $X(1) + X(2)$; * по данным настоящей работы; ** по данным публикации (Johnsen e. a., 1998).

воды. В то же время обе *X*-позиции в структуре кентбруксита являются F-доминантными, что в основном и отличает его от карбокентбруксита. Цирсилит-(Ce) и карбокентбруксит следует рассматривать как первые собственно карбонатные представители эвдиалитовой группы, поскольку в ранее опубликованных работах сообщалось о присутствии в эвдиалитах лишь следовых количеств CO_3-аниона (Johnsen e. a., 1998; 1999a, б).

3. Атомная доля Na в позиции *N*(4) последовательно снижается (1769—1.39—1.12), а REE возрастает (0.44—1.16—1.45) в ряду кентбруксит—карбокентбруксит—цирсилит-(Ce). Доминирование REE (1.45) над Na(1.12) в позиции *N*(4) установлено только в последнем минерале приведенного ряда, и это является его существенным видовым признаком, наличие которого позволяет рассматривать цирсилит-(Ce) в качестве первого структурно подтвержденного собственно редкоземельного представителя группы эвдиалита. Сделанный вывод согласуется с правилом А. А. Левинсона для редкоземельных минералов (Levinson, 1966; Nickel, Grice, 1998): если сумма REE превалирует над любым другим компонентом, заселяющим данную структурную позицию, минерал рассматривается как собственно редкоземельный, а элемент, доминирующий среди REE, определяет принадлежность минерала к конкретному виду.

С точки зрения действующей номенклатуры редкоземельных минералов валовое содержание REE в них не имеет принципиального значения. В этом отношении показателен пример онейллита (Johnsen e. a., 1996б). Этот минерал эвдиалитовой группы содержит 10.15 мас.% REE_2O_3 против 7.19 % в цирсилите-(Ce), но не относится к собственно редкоземельным, так как REE в его структуре рассредоточены по трем разным позициям, две из которых являются Na-доминантными и одна — Ca-доминантной. Не исключено, что вышеприведенному правилу для редкоземельных минералов наряду с цирсилитом-(Ce) удовлетворяет и близкий к нему по катионному составу эвдиалитоподобный минерал из Пилансберга, содержащий до 7.6 мас.% REE_2O_3 (Olivo, Williams-Jones, 1999). Однако в случае подтверждения этого структурным анализом данный минерал вряд ли будет отождествлен с цирсилитом-(Ce), если одновременно не выявится его существенная обогащенность карбонатным анионом.

Генезис минералов. Условия нахождения цирсилита-(Ce) и карбокентбруксита, как и эвдиалитовой минерализации массива Дара-и-Пиоз в целом, свидетельствуют об их образовании на конечных стадиях формирования дифференцированных пегматитов, при кристаллизации остаточных расплавов, пересыщенных кремнеземом, щелочными, летучими и редкими элементами.

Вопрос о распространенности изученных минералов остается открытым. Можно, однако, предполагать, что оба они отнюдь не принадлежат к минералогическим редкостям. С учетом геохимической специализации эвдиалитоносных пегматитов Дара-и-Пиоза на широкий круг элементов — Li, K, Cs, Ba, Zn, Mn, REE, Ti, Zr, Nb, B, F, Cl, C и др. — представляется очевидной перспективность дальнейшего изучения этих природных образований с целью пополнения группы эвдиалита новыми видами, индивидуальными по составу, структуре и свойствам.

Оригиналы исследования цирсилита-(Ce) и карбокентбруксита переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана Российской Академии наук, Москва. Регистрационный номер 2725/1.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 02-05-64152.

Список литературы

Дусматов В. Д. Минералогия щелочного массива Дараи-Пиез (Южный Тянь-Шань). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., **1971**. 18 с.

Пеков И. В., Екименкова И. А., Чуканов Н. В. и др. Фекличевит — новый минерал группы эвдиалита из Ковдорского массива, Кольский полуостров // ЗВМО. **2001**. № 3. С. 55—65.

Расцветаева Р. К., Хомяков А. П. Кристаллохимия модулярных эвдиалитов // Кристаллография. **2003**. Т. 48. № 7.

Расцветаева Р. К., Хомяков А. П., Андрианов В. И., Гусев А. И. Кристаллическая структура аллуайвита // Докл. АН СССР. **1990**. Т. 312. № 6. С. 1379—1383.

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., Нечелюстов Г. Н., Расцветаева Р. К. Аллуайвит — новый титаносиликат с эвдиалитоподобной структурой // ЗВМО. **1990**. № 1. С. 117—120.

Gula A., Ferraris G., Ivaldi G., Khomyakov A. P. Crystal chemistry of some members of the eudialyte group // Mitt. Öster. Miner. Ges. **2001**. Vol. 146. P. 97—99.

Johnsen O., Grice J. D. The crystal chemistry of the eudialyte group // Canad. Miner. **1999**. Vol. 37. Pt 4. P. 865—891.

Johnsen O., Grice J. D., Gault A. Kentbrooksite 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. Miner. **1998**. Vol. 10. P. 207—219.

Johnsen O., Gault A., Grice J. D., Ercit T. S. Khomyakovite and manganokhomyakovite, two new members of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebeq, Canada // Canad. Miner. **1999a**. Vol. 37. Pt 4. P. 893—899.

Johnsen O., Grice J. D., Gault A. Oneillite: A new Ca-deficient and REE-rich member of the eudialyte group form Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada // Canad. Miner. **19996**. Vol. 37. P. 1111—1117.

Johnsen O., Grice J. D., Gault A. Ferrokentbrooksite, a new member of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada // Canad. Miner. **2003**. Vol. 41. Pt 1. P. 55—60.

Khomyakov A. P. The «Second Chapter» in the mineralogy and crystal chemistry of the eudialyte group // In: Proc. III International Mineralogical Seminar «New Ideas and Conceptions in Mineralogy». Syktyvkar, Komi Republic, Russia, **2002a**. P. 108.

Khomyakov A. P. New chapter in the mineralogy and crystal chemistry of the eudialyte group // In: 18th IMA Gen. Meet. Edinburgh, Scotland. Progr. Abstr, **20026**. A12—18. P. 140—141.

Levinson A. A. A system of nomenclature for rare-earth minerals // Amer. Miner. **1996**. Vol. 51. N. 1—2. P. 152—158.

Nickel E. H., Grice J. D. The IMA Commission on New Minerals and Mineral Names: procedures and guidelines on mineral nomenclature, 1998 // Canad. Miner. **1998**. Vol. 36. P. 3. P. 913—927.

Olivo G. R., Williams-Jones A. E. Hydrothermal REE-rich eudialyte from the Ilanesberg complex, South Africa // Canad. Miner. **1999**. Vol. 37. Pt 3. P. 653—663.

Поступила в редакцию
29 мая 2003