

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

УДК 549.6

© Почетный член А. П. ХОМЯКОВ,* д. чл. Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ,** д. чл. Р. К. РАСЦВЕТАЕВА***

ЛАБИРИНТИТ $(\text{Na}, \text{K}, \text{Sr})_{35}\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{TiSi}_{51}\text{O}_{144}(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_9\text{Cl}_3$ —
 НОВЫЙ МИНЕРАЛ С МОДУЛЯРНОЙ
 ЭВДИАЛИТОПОДОБНОЙ СТРУКТУРОЙ
 ИЗ ХИБИНСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА,
 КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, РОССИЯ¹

A. P. KHOMYAKOV, G. N. NECHELYUSTOV, R. K. RASTSVETAeva. LABYRINTHITE
 $(\text{Na}, \text{K}, \text{Sr})_{35}\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{TiSi}_{51}\text{O}_{144}(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_9\text{Cl}_3$, A NEW MINERAL WITH A MODULAR
 EUDIALYTE-LIKE STRUCTURE FROM Khibiny Alkaline Massif,
 KOLA PENINSULA, RUSSIA

* Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов,
 121357, Москва, ул. Вересаева, 15

** Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья,
 109017, Москва, Старомонетный пер., 31

*** Институт кристаллографии РАН, 117333, Москва, Ленинский пр., 59

Labyrinthite was found on the Nyorkpakhk Mt (Khibiny massif), occurring in hyperagpaitic pegmatite as anhedral rounded grains 0.5–1 cm in cross-size. It associates with potassium feldspar, sodalite, alkaline amphibole, aegirine, pectolite, lamprophyllite, lomonosovite, villiaumite, etc. At the surface, grains of the mineral are replaced by aggregates of zirsinalite, lovozerite and thermonatrite. Color bright pink, streak white, transparent, luster vitreous; brittle, with conchoidal fracture. Mohs' hardness 5–6. $D(\text{meas.}) = 2.88(2) \text{ g/cm}^3$ (volumetric method), $D(\text{calc.}) = 2.87 \text{ g/cm}^3$. Optically uniaxial, positive, $n_o = 1.597(1)$, $n_e = 1.601(1)$. Trigonal, space group $R\bar{3}$, $a = 14.239(1)$, $c = 60.733(7) \text{ \AA}$, $V = 10664(3) \text{ \AA}^3$. $Z = 3$. The strongest lines of the powder diffraction pattern [d , \AA (l)(hkl)] arc: 2.977(100)(1.3.10), 2.853(88)(048), 4.324(68)(0.2.10), 3.230(44)(0.2.16), 3.550(39)(220), 2.685(38)(140), 3.049(36)(1.1.18), 2.605(36)(0.3.18), 5.70(34)(024), 3.173(34)(1.2.14). The IR data are given. Chemical composition (wt%, electron probe, H_2O content by the Penfield method): Na_2O 16.77, K_2O 1.11, CaO 10.73, SrO 1.24, FeO 2.56, MnO 1.00, Ce_2O_3 0.27, SiO_2 50.04, ZrO_2 11.90, TiO_2 0.67, Cl 1.70, F 0.11, H_2O 1.58, $-\text{O}=(\text{Cl}, \text{F})_2$ 0.43, total 99.25. Empirical formula (based on total of cations $\text{Si} + \text{Zr} + \text{Ti} = 57.7$ as determined by crystal structure analysis) is $(\text{Na}_{33.30}\text{K}_{1.45}\text{Sr}_{0.74})_{\Sigma 35.49}(\text{Ca}_{11.77}\text{Ce}_{0.10})_{\Sigma 11.87}(\text{Fe}_{2.19}\text{Mn}_{0.87})_{\Sigma 3.06}\text{Zr}_{5.94}(\text{Ti}_{0.52}\text{Si}_{0.26})_{\Sigma 0.78}\text{Si}_{51}\text{O}_{144.48}(\text{OH})_{4.80}\text{Cl}_{2.95}\text{F}_{0.36} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Simplified formula: $(\text{Na}, \text{K}, \text{Sr})_{35}\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{TiSi}_{51}\text{O}_{144}(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_9\text{Cl}_3$. The mineral is named labyrinthite (from the Greek 'labyrinthos' {labyrinth}) for its unusually complex crystal structure, whose unit cell contains about 800 cations and anions distributed over more than 100 crystallographic sites. The crystal structure is characterized by the presence of two types of modules (alluaivite-like and eudialyte-like) alternating along the triad axis, causing labyrinthite to have a double c period of its unit cell relatively to eudialyte, and a close crystal chemical relationship to rastsvetaevite (ZRMO, 2006, No. 1). According to the authors' crystal chemical systematics of the eudialyte group, the mineral belongs to one of its three principal subgroups characterized by the 24-layered structural array. Labyrinthite is a late-pegmatitic mineral formed during the final stages of hyperagpaitic pegmatite formation. Type material is deposited at the Fersman Mineralogical Museum, Moscow.

¹ Новый минерал лабиринтит рассмотрен Комиссией по новым минералам и названиям минералов Российского минералогического общества и утвержден Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 3 апреля 2003 г. В работе о кристаллической структуре минерала (Расцветаева, Хомяков, 2001а) лабиринтит был условно обозначен как «высоконатриевый аналог эвдиалита с удвоенным c -периодом и симметрией $R\bar{3}$ ».

ВВЕДЕНИЕ

Детальное изучение минералов группы эвдиалита (МГЭ) привело в последние годы к выделению в ней своеобразной подгруппы представителей с уникальным по топологии 24-слойным структурным мотивом, отличающихся от обычных 12-слойных эвдиалитов удвоенным *c*-периодом и некоторыми другими особенностями (Хомяков, 2002а, 2005; Расцветаева, Хомяков, 2003; Khomyakov, 2004). Наряду с ранее описанным аллуйвитом $\text{Na}_{38}(\text{Ca}, \text{Mn})_{12}(\text{Ti}, \text{Nb})_6\text{Si}_{52}\text{O}_{148}\text{Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Хомяков и др., 1990; Расцветаева и др., 1990) в состав этой подгруппы вошли расцветаевит $\text{Na}_{27}\text{K}_8\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{Si}_4[\text{Si}_3\text{O}_9]_4[\text{Si}_9\text{O}_{27}]_4(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_6\text{Cl}_2$ (Расцветаева, Хомяков, 2001б; Хомяков и др., 2006а), дуалит $\text{Na}_{30}(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Ce}, \text{Sr})_{12}(\text{Na}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Ti})_6\text{Zr}_3\text{Ti}_3\text{MnSi}_{51}\text{O}_{144}(\text{OH}, \text{H}_2\text{O}, \text{Cl})_9$ (Rastsvetaeva e. a., 1999; Хомяков и др., 2006б) и описываемый ниже существенно натриевый аналог расцветаевита состава $(\text{Na}, \text{K}, \text{Sr})_{35}\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{TiSi}_{51}\text{O}_{144}(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_9\text{Cl}_3$, встреченный одним из авторов (А. П. Х.) на горе Ньюоркпахк Хибинского щелочного массива (Кольский полуостров, Россия). Новый минеральный вид назван **лабиринтитом (labyrinthite)** от греч. *labyrinthos* — лабиринт — по необычно сложной кристаллической структуре, элементарная ячейка которой содержит около 800 катионов и анионов, распределенных по более чем 100 кристаллографическим позициям (Расцветаева, Хомяков, 2001а). В настоящей работе наряду с общеминералогическим описанием лабиринтита охарактеризованы его основные структурные особенности и показано место нового минерала в группе эвдиалита.

Эталонный образец лабиринтита передан в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН, Москва (рег. № 2624/2).

УСЛОВИЯ НАХОЖДЕНИЯ, СОСТАВ И СВОЙСТВА ЛАБИРИНТИТА

Данные об основных особенностях изученного минерала и его ближайших аналогов сопоставлены в табл. 1.

Лабиринтит обнаружен на глубине 445 м от поверхности, в керне скважины, пробуренной в породах комплекса рисчорритов и ийолит-уртитов. Керновый материал представлен грубозернистой пегматоидной породой, в состав которой входят калиевый полевоый шпат, содалит, щелочной амфибол, эгирин, пектолит, лампрофиллит, ломоносавит, виллиомит и минералы группы ловозерита. В аналогичных по облику породах из соседних интервалов керна отмечены также энигматит, дельхайелит, щербаквит, тинаксит, магнизиальный астрофиллит и расвумит. По своим минералогическим особенностям эти породы примерно соответствуют седьмому типу принятой нами систематики ультраагпаитовых пегматитов Хибино-Ловозерского комплекса (Хомяков, 1990; Khomyakov, 1995).

Описываемый минерал спорадически рассеян в пегматитовой породе в виде неограниченных зерен округлой формы размером до 0.5—1 см в поперечнике, замещенных с поверхности агрегатом цирсианита, ловозерита и термонатрита. Внешне он ничем не отличается от обычного эвдиалита. В крупных выделениях минерал ярко-розовый, в тонких сколах и под микроскопом бледно-розовый. Черта белая. Прозрачный, со стекляннным блеском, раковистым изломом. Хрупкий. Твердость 5—6 по шкале Мооса. Плотность, определенная объеметрическим методом, 2.88(2) г/см³, вычисленная для эмпирической формулы 2.87 г/см³. Оптически одноосный, положительный. Показатели преломления определены иммерсионным методом: $n_0 = 1.597(1)$, $n_e = 1.601(1)$. Ярко люминесцирует фиолетовым под действием лазера на молекулярном азоте (λ 337 нм). Медленно разлагается 10%-ными кислотами (HCl, HNO₃, H₂SO₄) с выделением геля кремнекислоты.

ИК-спектр минерала (рис. 1) содержит хорошо разрешенные полосы поглощения (см⁻¹, с, ср, сл — сильная, средняя, слабая полосы): 1060-с, 1020-с, 980-с, 930-с, 730-с, 680-ср, 660-сл, 640-ср, 540-ср, 520-ср, 480-с и 450-с; имеются также две отчетливые полосы в области 3440-с и 1640-с, обусловленные наличием в минерале групп OH и

Таблица 1

Сравнение лабиринтита (1) с расцветаевитом (2), аллуайвитом (3) и эвдиалитом (4)
 Comparison of labyrinthite (1) with rastsvetaevite (2), alluaivite (3) and eudialyte (4)

Минерал	Лабиринтит	Расцветаевит	Аллуайвит	Эвдиалит
Формула	$(\text{Na}, \text{K}, \text{Sr})_{35}\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{TiSi}_{51}\text{O}_{144}(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_9\text{Cl}_3$	$\text{Na}_{27}\text{K}_8\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{Si}_{52}\text{O}_{144}(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_6\text{Cl}_2$	$\text{Na}_{38}(\text{Ca}, \text{Mn})_{12}(\text{Ti}, \text{Nb})_6\text{Si}_{52}\text{O}_{148}\text{Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_2\text{Cl}_2$
Сингония	Тригональная	Тригональная	Тригональная	Тригональная
Пр. группа	$R\bar{3}$	$R\bar{3}m$	$R\bar{3}m$	$R\bar{3}m$ и $R\bar{3}m$
a , Å	14.239	14.249	14.046	13.95—14.34
c , Å	60.733	60.969	60.60	29.89—30.49
V , Å ³	10664	10720	10354	5250—5370
Z	3	3	3	3
D , г/см ³	2.88	2.86	2.76	2.62—3.08
Интенсивные линии на рентгенограмме порошка, $d(f)(hkl)$	2.977(100)(1.3.10) 2.853(88)(048) 4.324(68)(0.2.10) 3.230(44)(0.2.16) 3.550(39)(220) 2.685(38)(140) 3.049(36)(1.1.18) 2.605(36)(0.3.18) 5.70(34)(024) 3.173(34)(1.2.14) 6.45(33)(018)	2.987(100)(1.3.10) 4.345(81)(0.2.10) 2.861(73)(048) 3.249(57)(0.2.16) 6.48(47)(018) 3.565(41)(220) 2.695(40)(140) 3.196(37)(0.3.12) 2.619(36)(0.3.18) 5.72(33)(024) 3.189(32)(1.2.14)	2.960(100)(1.3.10) 2.825(100)(048) 7.14(80)(110) 1.762(80)(440) 4.30(70)(0.2.10) 2.148(70)(0.4.20) 1.358(70)(900) 3.36(50)(312) 2.664(50)(3.1.14) 2.583(50)(0.3.18) 3.77(40)(036)	2.857(100)(404) 2.977(84)(315) 4.312(55)(205) 3.217(47)(208) 5.714(45)(202) 3.403(42)(131) 7.124(38)(110) 3.165(35)(217) 3.807(34)(303) 3.563(32)(220) 3.032(31)(119)
Оптический знак	+	+	+	±
n_o	1.597	1.598	1.618	1.570—1.615
n_e	1.601	1.600	1.626	1.575—1.620
Цвет	Розовый	Розовый	Бесцветный	Красный, розовый, желтый

Примечание. Использованные источники: 1) данные настоящей работы; 2) Хомяков и др., 2006а; 3) Хомяков и др., 1990, Расцветаева и др., 1990; 4) Картолка ICDD, № 41-1465 и др.

молекул воды. По набору основных полос лабиринтит весьма близок к расцветаевиту и аллуайвиту.

Рентгенограмма порошка минерала индивидуальна (табл. 2), хотя по общему характеру она близка к рентгенограммам других минералов рассматриваемой группы. От рентгенограммы расцветаевита ее отличает, в частности, соотношение интенсивностей целого ряда общих линий (табл. 1).

Химический состав минерала (табл. 3) изучен Г. Н. Нечелюстовым на рентгеновском микроанализаторе Superprobe-733 и дополнен определением содержания воды методом Пенфильда. Анализировался состав пяти зерен с использованием следующих стандартов: чкаловит (Na), $\text{K}_2\text{ZrSi}_2\text{O}_7$ (K, Zr), диопсид (Ca, Si), SrTiO_3 (Sr, Ti), алмадин (Fe), родонит (Mn), CePO_4 (Ce), хлорапатит (Cl), фторфлогопит (F). Для железа принята двухвалентная форма, доля которой в сумме $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, по данным мокрого химического анализа минерала, превышает 90 %. Усредненный состав минерала пересчитывается при сумме высокозарядных катионов $\text{Si} + \text{Zr} + \text{Ti} = 57.72$ в формульной единице (по данным рентгеноструктурного анализа, см. ниже) на эмпирическую формулу: $(\text{Na}_{3.30}\text{K}_{1.45}\text{Sr}_{0.74})_{\Sigma 35.49}(\text{Ca}_{11.77}\text{Ce}_{0.10})_{\Sigma 11.87}(\text{Fe}_{2.19}\text{Mn}_{0.87})_{\Sigma 3.06}\text{Zr}_{5.94}(\text{Ti}_{0.52}\text{Si}_{0.26})_{\Sigma 0.78}\text{Si}_{51}\text{O}_{144.48}(\text{OH})_{4.80}\text{Cl}_{2.95}\text{F}_{0.36} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Идеализованная формула может быть представлена в следующем виде: $(\text{Na}, \text{K}, \text{Sr})_{35}\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{TiSi}_{51}\text{O}_{144}(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_9\text{Cl}_3$.

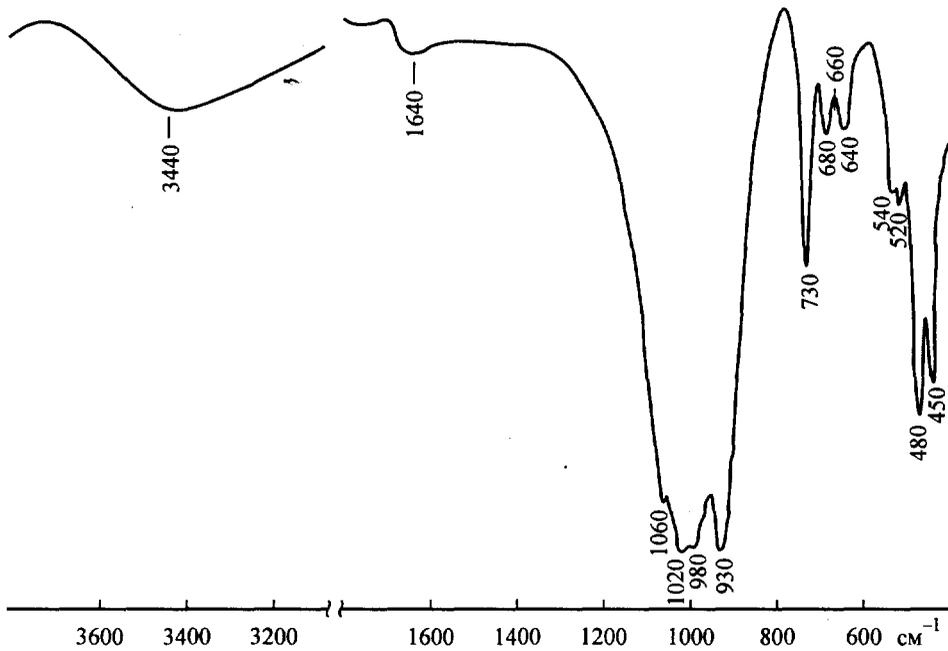


Рис. 1. Инфракрасный спектр лабиринтита.

Fig. 1. Infrared spectrum of labyrinthite.

Таблица 2

Химический состав лабиринтита (мас. %)

Chemical composition of labyrinthite (wt %)

Компонент	Содержание в пяти зернах	
	пределы вариаций	среднее
Na ₂ O	16.61—17.04	16.77
K ₂ O	0.90—1.18	1.11
CaO	10.57—10.87	10.73
SrO	1.19—1.27	1.24
FeO	2.51—2.68	2.56
MnO	0.96—1.02	1.00
Ce ₂ O ₃	0.22—0.30	0.27
SiO ₂	49.64—50.45	50.04
ZrO ₂	11.66—12.20	11.90
TiO ₂	0.63—0.72	0.67
Cl	1.66—1.80	1.70
F	0.08—0.15	0.11
H ₂ O		1.58
-0 = (Cl, F) ₂		0.43
Сумма		99.25

Примечание. Микронд. Аналитик Г. Н. Нечелюстов. Содержания оксидов Ba, Al, La, Nd, Y, Hf, Nb и Ta не превышают 0.05—0.1 мас. %. Содержание воды определено методом Пенфильда.

Таблица 3

Результаты расчета рентгенограммы порошка лабиринтита
X-ray powder diffraction data for labyrinthite

<i>I</i>	$d_{\text{экср.}} \text{ \AA}$	$d_{\text{выч.}} \text{ \AA}$	<i>hkl</i>	<i>I</i>	$d_{\text{экср.}} \text{ \AA}$	$d_{\text{выч.}} \text{ \AA}$	<i>hkl</i>
25	7.10	7.11	110	34	2.161	2.161	0.4.20
33	6.45	6.46	018	18	2.145	2.147	3.3.12
11	6.03	6.04	022			2.146	1.3.22
34	5.70	5.71	024	13	2.067	2.068	2.3.20
8	5.44	5.44	1.0.10			2.066	0.5.16
10	5.05	5.06	0.0.12	7	2.014	2.012	066
5	4.61	4.60	122	14	1.984	1.984	2.4.16
68	4.324	4.323	0.2.10	8	1.937	1.939	3.3.18
30	4.120	4.121	1.1.12	7	1.926	1.927	3.1.26
17	3.969	3.968	128	10	1.903	1.902	0.6.12
23	3.804	3.805	036	8	1.874	1.875	612
7	3.695	3.694	2.1.10			1.874	0.1.32
22	3.625	3.624	1.0.16	16	1.842	1.842	4.1.24
39	3.550	3.556	220	29	1.779	1.779	2.4.22
		3.544	2.0.14			1.778	440
25	3.396	3.396	312	30	1.774	1.772	4.0.28
12	3.366	3.371	0.0.18	10	1.757	1.758	2.2.30
		3.355	226			1.757	532
12	3.334	3.333	134	8	1.716	1.720	3.2.28
44	3.230	3.229	0.2.16			1.714	538
34	3.173	3.172	1.2.14			1.714	078
36	3.049	3.046	1.1.18			1.714	0.2.34
100	2.977	2.977	1.3.10	7	1.700	1.698	624
26	2.940	2.940	2.1.16			1.698	1.3.31
17	2.910	2.909	2.2.12	13	1.678	1.677	4.4.12
88	2.853	2.854	048	15	1.645	1.648	4.2.26
33	2.722	2.722	2.0.20			1.644	6.2.10
38	2.685	2.688	140	21	1.614	1.615	0.4.32
		2.683	3.1.14	7	1.595	1.597	6.1.20
36	2.605	2.605	0.3.18			1.596	7.0.16
16	2.529	2.528	0.0.24			1.594	0.6.24
12	2.452	2.456	502	8	1.588	1.589	2.6.14
7	2.390	2.391	4.0.16			1.586	2.4.28
10	2.373	2.371	330	9	1.583	1.583	0.1.38
12	2.321	2.321	422			1.582	1.3.34
4	2.300	2.301	244	18	1.575	1.575	2.3.32
7	2.267	2.269	3.1.20	12	1.547	1.548	5.1.28
		2.266	3.2.16			1.546	2.0.38
				9	1.532	1.532	084

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-3М, $\text{CuK}\alpha$ -излучение. Значения $d_{\text{выч}}$ соответствуют параметрам ячейки, уточненным по рентгенограмме порошка: $a = 14.226(2) \text{ \AA}$, $c = 60.673(9) \text{ \AA}$.

ПОЛОЖЕНИЕ ЛАБИРИНТИТА В КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЙ СИСТЕМАТИКЕ МГЭ
И ОСОБЕННОСТИ ЕГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Минералы группы эвдиалита объединяют более 20 установленных к настоящему времени тригональных цирконо- и титаносиликатов с общей формулой $A(1)_3A(2)_3A(3)_3A(4)_3A(5)_3B_{3-6}CD\{M_6Z_3[T_{24}O_{72}]\}_1(O,OH)_{2-6}X_2$ (Khomyakov, 2002, 2004). Основу их

структуры составляет гетерополиэдрический каркас (в фигурных скобках), образованный (001) слоями, чередующимися вдоль оси *c* в последовательности *MTZT*..., где *M*-слои представлены шестичленными кольцами из Ca- и более сложных по составу октаэдров, *T*-слои — взаимно изолированными кольцами $[\text{Si}_9\text{O}_{27}]$ и $[\text{Si}_3\text{O}_9]$, *Z*-слои — дискретными Zr- и/или Ti-октаэдрами. В полостях каркаса локализируются катионы с валентностью от 1+ до 6+ (Na, K, H_3O^+ , Ca, Sr, Mn, Fe^{2+} , Fe^{3+} , REE, Si, Ti, Nb, W), дополнительные анионы (Cl, F, O, OH, SO_4 , CO_3) и молекулы воды. Все известные эвдиалиты относятся к пространственным группам $R\bar{3}m$, $R3m$ и $R3$. Основная их часть, включая собственно эвдиалит, обладает относительно низкоупорядоченной структурой, описываемой элементарной ячейкой с параметрами $a \sim 14.2$, $c \sim 30$ Å.

Своеобразный «Второй главой» в минералогии и кристаллохимии МГЭ явилось недавнее открытие в щелочных массивах Хибино-Ловозерского комплекса целой плеяды «мегаэвдиалитов», отличающихся от эвдиалитов «Первой главы» высокоупорядоченной модулярной структурой, удвоенным *c*-периодом и чередованием структурных слоев по схеме $(MTZT)(M^*T^*Z^*T^*)...$ (Хомяков, 2002а, 2005; Расцветаева, Хомяков, 2003). Кроме охарактеризованного в настоящей работе лабиринтита в эту плеяду вошли еще три уникальных по кристаллохимическим особенностям представителя МГЭ — аллуайвит $\text{Na}_{38}(\text{Ca}, \text{Mn})_{12}(\text{Ti}, \text{Nb})_6\text{Si}_{52}\text{O}_{148}\text{Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Хомяков и др., 1990; Расцветаева и др., 1990), расцветаевит $\text{Na}_{27}\text{K}_8\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{Si}_4[\text{Si}_3\text{O}_9]_4[\text{Si}_9\text{O}_{27}]_4(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_6\text{Cl}_2$ (Расцветаева, Хомяков, 2001б; Хомяков и др., 2006а) и дуалит $\text{Na}_{30}(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Ce}, \text{Sr})_{12}(\text{Na}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Ti})_6\text{Zr}_3\text{MnSi}_{51}\text{O}_{144}(\text{OH}, \text{H}_2\text{O}, \text{Cl})_9$ (Rastsvetaeva e. a., 1999; Хомяков и др., 2006б). Указанные открытия позволили выделить в группе эвдиалита две принципиально разные подгруппы с 12-слойным и 24-слойным структурными мотивами и на этой основе разработать кристаллохимическую систематику МГЭ (Khomyakov, 2004; Хомяков, 2005; Хомяков и др., 2006а), охватывающую в отличие от систематики, предложенной ранее для 30-Å эвдиалитов (Johnsen, Grice, 1999), все многообразие минералов данной группы.

Согласно нашей систематике, вся совокупность МГЭ подразделяется на разновыеменные подгруппы по принадлежности минералов к двум разным структурным мотивам (подгруппы 1-го порядка), шести структурным надтипам (подгруппы 2-го порядка) и более чем десяти структурным типам (подгруппы 3-го порядка). Из двух высших уровней ранжирования МГЭ первому отвечают минералы с 12-слойным ($c \sim 30$ Å) и 24-слойным ($c \sim 60$ Å) структурными мотивами, второму уровню — минералы, относящиеся к структурным надтипам *12a* (подгруппа эвдиалита), *12b* (подгруппа кентбруксита) *12c* (подгруппа онейллита), *24a* (подгруппа аллуайвита), *24b* (подгруппа расцветаевита) и *24c* (подгруппа лабиринтита), выделенным по сочетаниям 12- и 24-слойных структурных мотивов с каждой из трех перечисленных выше пространственных групп симметрии. Шесть подгрупп 2-го порядка рассматриваются нами в качестве главных кристаллохимических подгрупп МГЭ. Для их обозначения использованы названия наиболее полно охарактеризованных представителей подгрупп, а для подгрупп, включающих пока только по одному представителю, названия соответствующих представителей (родоначальников подгрупп). Ниже приведены перечни минералов, отнесенных к каждой из главных подгрупп систематики МГЭ: 1) подгруппа эвдиалита: эвдиалит (s. s.);² 2) подгруппа кентбруксита: георгбарсановит, гольшевит, икранит, карбокентбруксит, кентбруксит, манганохомяковит, моговидит, тасекит, фекличевит, феррокентбруксит, хомяковит, цирсилит-(Ce), эвдиалит (s. l.);² 3) подгруппа онейллита: аквалит, онейллит, раслакит; 4) подгруппа аллуайвита: аллуайвит; 5) подгруппа расцветаевита: дуалит, расцветаевит; 6) подгруппа лабиринтита: лабиринтит.

² s. s. и s. l. — лат. сокр. от *sensu stricto* (в узком смысле) и *sensu lato* (в широком смысле). Эвдиалит (s. s.) — собственно эвдиалит с центросимметричной пространственной группой $R\bar{3}m$ (Giuseppetti e. a., 1971; Johnsen, Grice, 1999); эвдиалит (s. l.) — аналог центросимметричного эвдиалита, обладающий апентричной пространственной группой $R3m$ (Гольшев и др., 1971; Расцветаева, Андрианов, 1987).

Согласно приведенным данным, лабиринтит занимает место в шестой главной подгруппе систематики МГЭ и на сегодняшний день остается пока единственным представителем этой подгруппы.

В обозначениях, рекомендованных Подкомитетом по эвдиалитам при КНМНМ ММА (Johnsen e. a., 2003), состав минералов подгруппы лабиринтита может быть схематически описан следующей общей формулой (при $Z = 3$): $[N(1)N(1)^*N(2)N(2)^*N(3)N(3)^*N(4)N(4)^*N(5)N(5)^*N(6)N(7)]_3 [M(1a)M(1a)^*M(1b)M(1b)^*]_3 [M(2)M(2)^*]_3 M(3)M(3)^*M(4)M(4)^*Z_3Z_3^* [Si_{24}O_{72}] [Si_{24}O_{72}]^* \varphi_4 \varphi_4 X_2$. Одинаковым символом без звездочки и со звездочкой в ней обозначены гомологические позиции соответственно первого и второго модулей структуры (см. ниже). Согласно статистическим данным о составе атомов, заселяющих ключевые позиции 12- и 24-слойных эвдиалитов с изученной структурой, позиции $N(1)$ — $N(7)$ и $N(1)^*$ — $N(5)^*$, как правило, заселены Na, некоторые из них могут быть заселены также REE, Sr, Ca, K, Mn, H_3O^+ , а позиции $N(6)$ и $N(7)$ могут содержать также K и Sr; $M(1)$ и $M(1)^* = Ca, Mn, Sr, REE, Y, Na$; $M(2)$ и $M(2)^* = Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn, Na$; $M(3)$ и $M(3)^* = Nb, Ti, W, Mn, Si$; $M(4)$ и $M(4)^* = Si$; Z и $Z^* = Zr, Ti$; φ и $\varphi^* = O, OH, H_2O$; X и $X^* = Cl, F, H_2O, OH, CO_3, SO_4$.

Кристаллохимическую основу 24-слойных эвдиалитов, как уже отмечалось выше, составляет трехмерный гетерополиэдрический каркас из M -, T - и Z -слоев, чередующихся вдоль $[001]$ по схеме $(MTZT)(M^*T^*Z^*T^*)...$, где круглые скобки объединяют неэквивалентные четырехслойные модули. Первый из них соответствует фрагменту независимой части структуры в интервале z от -0.025 до 0.14 и второй — гомологичному фрагменту в интервале z от 0.14 до 0.31 . Оба модуля, вместе взятые, образуют восьмислойный пакет толщиной $\sim 20 \text{ \AA}$, который, размножаясь вдоль тройной оси симметрии по закону R -решетки, формирует 24-слойную структуру с периодом $c \sim 60 \text{ \AA}$. Индивидуальность первого и второго модулей в основном определяется топологическими особенностями M - и M^* -слоев. В M -слоях кольца из шести реберно сочлененных октаэдров $[M(1)O_6]$ объединяются между собой парами связанных по общей грани семивершинников $[N(6)O_7]$ и $[N(7)O_7]$ с образованием 12-членных гетерополиэдрических колец. Впервые существование M -слоев с подобной топологией было установлено в структуре аллуайвита (Расцветаева и др., 1990) и поэтому они выделяются нами как «катионные гетерополиэдрические слои аллуайвитоподобного типа»; соответственно модули, содержащие M -слои, обозначаются как аллуайвитоподобные. В отличие от M -слоев в M^* -слоях кольца из шести октаэдров $[M(1)^*O_6]$ объединяются между собой полиэдрами $[M(2)^*O_{4-6}]$ (четырёх-, пяти- или, реже, шестивершинными) с образованием 9-членных гетерополиэдрических колец. По своей топологии M^* -слои весьма близки к соответствующим слоям в структуре собственно эвдиалита и поэтому они выделяются нами как «катионные гетерополиэдрические слои эвдиалитоподобного типа»; соответственно модули, содержащие M^* -слои, обозначаются как эвдиалитоподобные.

Кристаллическая структура лабиринтита решена на основе массива отражений, полученного с помощью 4-кружного монохроматического дифрактометра Синтекс- $P2_1$, уточнена по 3503 независимым отражениям [$F_o > 4\sigma(F)$] до R -фактора 5.40 % (Расцветаева, Хомяков, 2001a). Пространственная группа $R3$, $a = 14.239(1) \text{ \AA}$, $c = 60.733(7) \text{ \AA}$, $V = 10664(3) \text{ \AA}^3$, $Z = 3$. Выполненным анализом установлено следующее распределение атомов по ключевым катионным позициям структуры (без учета расщеплений позиций на подпозиции): $N(1) = Na_{3.01}$, $N(1)^* = Na_{3.01}$, $N(2) = (Na_{2.73}Sr_{0.27})_{\Sigma = 3.0}$, $M(2)^* = Na_{3.0}$, $N(3) = Na_{3.01}$, $N(3)^* = (Na_{1.98}K_{0.82}Sr_{0.2})_{\Sigma = 3.0}$, $N(4) = Na_{3.1}$, $N(4)^* = (Na_{2.37}K_{0.63})_{\Sigma = 3.0}$, $N(5) = Na_{3.0}$, $N(5)^* = Na_{3.0}$, $N(6) = (Na_{1.47}Sr_{0.07}Ce_{0.05})_{\Sigma = 1.59}$, $N(7) = (Na_{1.61}Sr_{0.05}Ce_{0.05})_{\Sigma = 1.71}$, $M(1a) = Ca_{3.0}$, $M(1a)^* = Ca_{3.0}$, $M(1b) = (Ca_{2.85}Sr_{0.15})_{\Sigma = 3.0}$, $M(1b)^* = Ca_{3.0}$, $M(2) = Na_{1.23}$, $M(2)^* = (Fe_{2.19}Mn_{0.81})_{\Sigma = 3.0}$, $M(3) = (Ti_{0.52}Si_{0.20}\square_{0.28})_{\Sigma = 1.0}$, $M(3)^* = Si_{1.0}$, $M(4) = Si_{1.0}$, $M(4)^* = Si_{1.0}$, $Z = Zr_{3.0}$, $Z^* = Zr_{3.0}$.

В соответствии с результатами структурной расшивки кристаллохимическая формула лабиринтита (при $Z = 1$) может быть представлена в виде: $(Na_{69.3}K_{1.9}Sr_{0.8})^{VI-IX} \{ (Na_9)^{VII} (Na_{5.93}K_{2.46}Sr_{0.6})^{VII-VIII} \} \{ (Ca_9)^{VI} (Ca_{8.55}Sr_{0.45})^{VI} \} \{ (Ca_9)^{VI} (Va_9)^{VI} \} \{ (Na_{4.42}Sr_{0.21}$

$\text{Ce}_{0.15})^{\text{VII}} (\text{Na}_{4.82}\text{Sr}_{0.15}\text{Ce}_{0.15})^{\text{VII}} \text{Na}_{3.69}^{\text{IV}}] (\text{Fe}_{6.66}\text{Mn}_{2.34}^{\text{V}}) \{ (\text{Zr}_9)^{\text{VI}} (\text{Zr}_9)^{\text{VI}} \} \{ (\text{Ti}_{1.56}\text{Si}_{0.6}\square_{0.84}) (\text{Si}_3)^{\text{IV}} \} \{ (\text{Si}_3)^{\text{IV}} (\text{Si}_3)^{\text{IV}} \} [\text{Si}_3\text{O}_9]_{12} [\text{Si}_9\text{O}_{27}]_{12} \text{O}_{2.47} (\text{OH})_{11.63} \text{Cl}_7\text{F}_1 (\text{H}_2\text{O})_{8.52}$, или после упрощения в виде: $(\text{Na}_{60}\text{K}_2\text{Sr})^{\text{VI}-\text{IX}} \{ (\text{Na}_6)^{\text{VII}} \} \{ (\text{Na}_6\text{K}_{25}\text{Sr}_{0.5})^{\text{VII}-\text{VIII}} \} \{ \text{Ca}_8^{\text{VI}} (\text{Ca}_{8.5}\text{Sr}_{0.5})^{\text{VI}} \} \{ \text{Ca}_9^{\text{VI}} \text{Ca}_9^{\text{VI}} \} \{ (\text{Na}_5^{\text{VII}}\text{Na}_5^{\text{VII}}\text{Na}_4^{\text{IV}}) (\text{Fe}_7^{\text{IV}}\text{Mn}_2^{\text{V}}) \} \{ \text{Zr}_9^{\text{VI}}\text{Zr}_9^{\text{VI}} \} \{ (\text{Ti}_{1.6}\text{Si}_{0.6}\square_{0.8}) \text{Si}_3^{\text{IV}} \} \{ \text{Si}_3^{\text{IV}}\text{Si}_3^{\text{IV}} \} [\text{Si}_3\text{O}_9]_{12} [\text{Si}_9\text{O}_{27}]_{12} \text{O}_2 (\text{OH})_{12} (\text{Cl}, \text{F})_8 (\text{H}_2\text{O})_8$, где фигурными скобками попарно объединены группы катионов, заселяющих гомологичные ключевые позиции аллуайвитоподобного (*A*) и эвдиалитоподобного (*B*) модулей соответственно; римскими цифрами обозначены координационные числа катионов.

Сравнение лабиринтита с 12-слойным эвдиалитом и 24-слойными аллуайвитом и расцветаевитом (табл. 1) показывает, что от первого минерала он отличается вдвое большей величиной параметра *c* и отсутствием зеркальной плоскости симметрии (*m*), от второго — отсутствием плоскости *m*, от третьего — отсутствием как плоскости *m*, так и центра инверсии.³ Главной причиной удвоения периода *c* аллуайвита в сравнении с эвдиалитом, как было показано ранее (Расцветаева и др., 1990), является упорядоченное распределение «цеолитных» 25-го и 26-го атомов кремния в дискообразных кластерах $\{ [\text{Si}_9\text{O}_{27}]\text{SiO} \}$ структуры аллуайвита. Причиной же удвоения этого периода в лабиринтите, как и расцветаевите, является наличие в его структуре не одного, как в 12-слойных эвдиалитах, а двух разных по составу и строению типов катионных слоев — аллуайвитоподобного (*M*) и эвдиалитоподобного (*M**), приближающихся по своим топологическим особенностям к соответствующим слоям в структурах аллуайвита и эвдиалита (рис. 2). Указанные слои чередуются вдоль главной оси симметрии с трехслойными пакетами анионного радикала $\{ (\text{Zr}, \text{Ti})_3 [\text{Si}_3\text{O}_9]_2 [\text{Si}_9\text{O}_{27}]_2 \}$, общего для всех минералов группы эвдиалита, что позволяет представить описываемую структуру в целом как ритмическое чередование четырехслойных модулей *A* и *B*, конституционно близких к соответствующим вырезкам из структур аллуайвита и эвдиалита.

Обращает на себя внимание резкое различие сопоставляемых модулей в отношении состава и координации атомов целого ряда элементов, в частности Fe, Ti и Na, заселяющих ключевые гомологичные позиции внекаркасных катионов, что отражено в структурной формуле лабиринтита и на приводимой ниже позиционной схеме:

	<i>N3, N3*</i>	<i>M1a, M1b, M1a*, M1b*</i>	<i>N6, N7, M2, M2*</i>	<i>M3, M3*, M4, M4*</i>
<i>A</i>	Na_3^{VII}	$\text{Ca}_3^{\text{VI}} (\text{Ca}, \text{Sr})_3^{\text{VI}}$	$(\text{Na}, \text{Sr}, \text{Ce})_{1.6}^{\text{VII}} (\text{Na}, \text{Sr}, \text{Ce})_{1.7}^{\text{VII}} \text{Na}_{1.2}^{\text{IV}}$	$(\text{Ti}^{\text{VI}}, \text{Si}^{\text{IV}}, \square) \text{Si}^{\text{IV}}$
<i>B</i>	$(\text{Na}, \text{K}, \text{Sr})_3^{\text{VII}-\text{VIII}}$	$\text{Ca}_3^{\text{VI}} \text{Ca}_3^{\text{VI}}$	$(\text{Fe}^{\text{IV}}, \text{Mn}^{\text{V}})_3$	$\text{Si}^{\text{IV}} \quad \text{Si}^{\text{IV}}$

Так, модуль *A* описываемого минерала характеризуется полным отсутствием атомов Fe, целиком сосредоточенных в модуле *B*, в центре кислородных «квадратов» на стыке колец $[\text{Ca}_6\text{O}_{24}]$, тогда как гомологичная «квадратная» позиция в модуле *A* является чисто натриевой. Атомы Ti, отсутствующие в модуле *B*, целиком сосредоточены в модуле *A*, где этот элемент доминирует над Si в позиции *M*(3) в составе кластеров $\{ [\text{Si}_9\text{O}_{27}]\text{Ti}^{\text{VI}}(\text{O}, \text{OH})_3, \text{Si}^{\text{IV}}(\text{O}, \text{OH}) \}$. Функционально участвующие в строении указанных кластеров атом Ti^{4+} аналогичны «цеолитным» Nb^{5+} и W^{6+} в структурах кентбруксита $\text{Na}_{13}\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{Nb}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_3(\text{F}, \text{Cl})_2$ и хомяковита $\text{Na}_{12}\text{Sr}_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{W}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_3(\text{OH}, \text{Cl})_2$ (Johnsen e. a., 1998, 1999a).

Кристаллохимически лабиринтит особенно тесно связан с расцветаевитом $\text{Na}_{27}\text{K}_8\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{Si}_4[\text{Si}_3\text{O}_9]_4[\text{Si}_9\text{O}_{27}]_4(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_6\text{Cl}_2$ (Расцветаева, Хомяков, 2001б; Хомяков и др., 2006а), который характеризуется следующим распределением атомов по ключевым катионным позициям:

	<i>N3, N3*</i>	<i>M1, M1*</i>	<i>N6, N7, M2, M2*</i>	<i>M3, M3*, M4, M4*</i>
<i>A</i>	$(\text{Na}, \text{Sr})_3^{\text{VI}}$	$(\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ce})_6^{\text{VI}}$	$\text{K}_2^{\text{VII}}, \text{K}_2^{\text{VII}} \text{Na}^{\text{IV}}$	$(\text{Si}^{\text{IV}}, \text{Nb}^{\text{VI}}) (\text{Si}^{\text{IV}}, \square)$
<i>B</i>	K_3^{VIII}	Ca_6^{VI}	$(\text{Fe}^{\text{IV}}\text{Na}^{\text{V}}\text{Mn}^{\text{V}}\text{Fe}^{\text{V}})_3$	$(\text{Si}^{\text{IV}}, \text{Al}^{\text{VI}}) \text{Si}^{\text{IV}}$

³ Сопоставление лабиринтита с кристаллохимически родственным ему 24-слойным дуалитом будет дано при описании дуалита (Хомяков и др., 2006б).

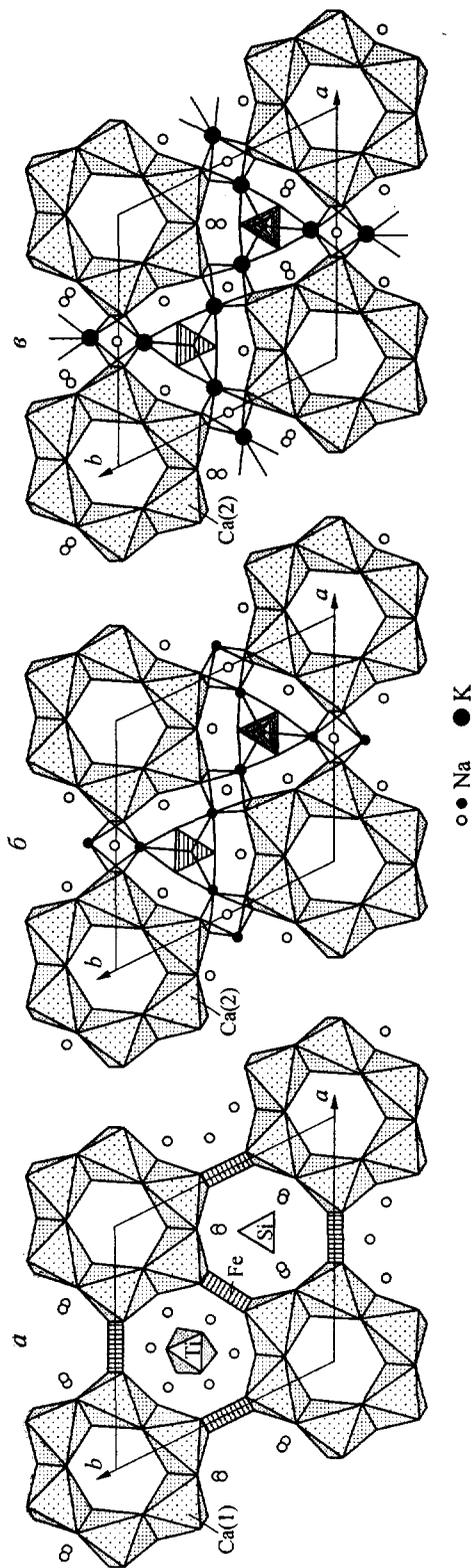


Рис. 2. Гетерополиэдрические слои в кристаллических структурах лабиринтита (а, б) и расцветаевита (е).

а — эвдиалитоподобный слой, б и е — алтхайтноподобный слой; черными кружками на рис. 2, б обозначены атомы Na, занимающие те же позиции, что и атомы K на рис. 2, е.

Fig. 2. Heteropolyhedral sheets in the crystal structures of labyrinthite (а, б) and rastsvetavite (е):

а — eudialyte-like sheet, б and е — althauvite-like sheet; black circles in figure 2, б indicate Na atoms occupying the same sites as K atoms in figure 2, е.

Наиболее ярко структурная близость сравниваемых минералов проявляется в однотипном распределении между модулями атомов Fe и щелочных металлов, что позволяет рассматривать лабиринтит как своеобразный высоконатриевый или низкокалиевый аналог расцветаевита. Среди особенностей, существенно отличающих лабиринтит от расцветаевита, наряду с гипернатриевостью лабиринтита и самостоятельной ролью титана в его структуре, следует подчеркнуть понижение его симметрии от $R3m$ до $R3$. Это сближает изученный минерал с онейллитом $Na_{15}Ca_3Mn_3Fe_3Zr_3Nb(Si_{25}O_{73})(O,OH,H_2O)_3(OH,Cl)_2$ и рядом других низкосимметричных МГЭ (Johnsen e. a., 1999b; Расцветаева и др., 2000), в которых до половины атомов Ca замещена такими элементами, как Mn, REE, Sr, Na и Fe. Главной причиной понижения симметрии указанных минералов является разделение единой в рамках группы $R3m$ позиции Ca шестичленных колец на две позиции, кристаллографически независимые в рамках группы $R3$, принадлежащие тройкам не связанных зеркальной плоскостью разнообъемных октаэдров. Поскольку для изученного минерала подобный изоморфизм не характерен, понижение его симметрии, очевидно, связано с каким-то другим фактором или суммой нескольких факторов, выявление которых представляет интерес для дальнейших исследований.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И ТИПОМОРФИЗМ ЛАБИРИНТИТА

Лабиринтит — позднепегматитовый минерал, образующийся на конечных стадиях формирования ультраагпаитовых пегматитов. В отличие от своего ближайшего кристаллохимического аналога расцветаевита, характерного для калиевой ветви пегматитов данного типа, чрезвычайно ярко представленных в Хибинском массиве (Хомяков, 1990; Хомяков и др., 2006а; Агеева и др., 2002), он типоморфен для натриевой ветви дифференциатов агпаитовых магм и, вероятно, более широко распространен в Ловозерском массиве с его резко выраженной натриевой спецификой. Указанием на такую возможность служат находки в последнем двух гипернатриевых представителей МГЭ с 24-слойным структурным мотивом — аллуайвита и дуалита.

Обнаружение в ультраагпаитовых образованиях Хибино-Ловозерского комплекса целой плеяды эвдиалитоподобных минералов с уникальным по сложности 24-слойным структурным мотивом существенно повышает индикаторное значение МГЭ. Одним из результатов их открытия явилось установление тесной связи структурной упорядоченности минералов данной группы со степенью агпаитности включающих их материнских пород, заключающейся в характерности низко- и высокоупорядоченных членов группы соответственно для агпаитовых пород умеренной и ультравысокой щелочности. Это с учетом широкой распространенности МГЭ в генетически различных агпаитовых комплексах выдвигает минералы группы эвдиалита в разряд важнейших индикаторов условий формирования и формационной принадлежности щелочных пород (Хомяков, 2002а, б, 2006а и др.).

В ультраагпаитовых образованиях Хибин и Ловозера авторами настоящей работы, наряду с необычными по своей кристаллохимии 24-слойными эвдиалитами, описано несколько десятков других минералов с высокоупорядоченными структурами. В основном это сложные по составу гипернатриевые силикаты, карбонаты и фосфаты, разнообразие которых в значительной мере определяется способностью атомов Na распределяться по многим позициям кристаллической структуры и формировать различные по форме и размеру полиэдры с уникальным набором координационных чисел от 4 до 12. Приуроченность к ультраагпаитовым породам обильных скоплений подобных минералов объясняется спецификой пересыщенных щелочными и летучими компонентами низковязких расплавов-растворов, которые стимулируют формирование дальнего порядка атомов в «кристаллизационном дворике» растущих кристаллов, а также обеспечивают существенное снижение температуры и резкое расширение температурно-временного интервала кристаллизации. Доминирование в рассматриваемых породах соединений с предельно упорядоченными кристаллическими структурами удовлетворительно согласуется с представлениями о тесной связи структур-

но-симметричных особенностей минералов с физико-химическими условиями их образования (Хомяков, 2000; Khomyakov, 2001).

В заключение авторы выражают благодарность О. А. Залкинду, С. П. Пурусовой и В. А. Рассулову за помощь в получении некоторых важных характеристик изученного минерала.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 02-05-64152.

Список литературы

Агеева О. А., Боруцкий Б. Е., Хангулов В. В. Эвдиалит как минералого-геохимический индикатор метасоматических процессов при формировании пород комплекса пойкилитовых нефелиновых сиенитов Хибинского массива // *Геохимия*. 2002. № 10. С. 1098—1105.

Гольшев В. М., Симонов В. И., Белов Н. В. О кристаллической структуре эвдиалита // *Кристаллография*. 1971. Т. 16. № 1. С. 93—98.

Расцветаева Р. К., Андрианов В. И. Новые данные о кристаллической структуре эвдиалита // *Докл. АН СССР*. 1987. Т. 293. № 5. С. 1122—1126.

Расцветаева Р. К., Хомяков А. П. Модулярная структура высоконатриевого аналога эвдиалита с удвоенным *c*-периодом и симметрией $R\bar{3}$ // *Кристаллография*. 2001а. Т. 40. № 5. С. 809—814.

Расцветаева Р. К., Хомяков А. П. Модулярная структура высококальциевого аналога эвдиалита с удвоенным периодом *c* // *Кристаллография*. 2001б. Т. 40. № 4. С. 715—721.

Расцветаева Р. К., Хомяков А. П. Кристаллохимия модулярных эвдиалитов // *Кристаллография*. 2003. Т. 48. № 6 (Приложение). С. S78—S90.

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

Расцветаева Р. К., Екименкова И. А., Хомяков А. П. Типы катионного упорядочения в потенциально новых минералах группы эвдиалита / Упорядочения в минералах и сплавах. Материалы Международного симпозиума. Ростов-на-Дону, 2000. С. 104—110.

Хомяков А. П. Минералогия ультраапатитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 196 с.

Хомяков А. П. Структурно-симметричный типоморфизм минералов уникальных месторождений щелочного ряда / Геохимия магматических пород. XIX Всероссийский семинар. Тезисы докл. М., 2000. С. 153—154.

Хомяков А. П. «Вторая глава» в минералогии и кристаллохимии группы эвдиалита / Новые идеи и концепции в минералогии. Материалы III Междунар. минерал. семинара. Сыктывкар, 2002а. С. 107—108.

Хомяков А. П. Высокоупорядоченные амфотеросиликаты группы эвдиалита как индикаторы предельно щелочных условий минералообразования в магматических процессах / Геохимия магматических пород. Всероссийский семинар с участием стран СНГ. М., 2002б. С. 96—97.

Хомяков А. П. Кристаллохимическая систематика группы эвдиалита / III Международный симпозиум «Минеральное разнообразие — исследование и сохранение». Тезисы. София, 2005. С. 3.

Хомяков А. П., Нечелюстов Г. Н., Расцветаева Р. К. Алуайвит $\text{Na}_{19}(\text{Ca}, \text{Mn})_6(\text{Ti}, \text{Nb})_3\text{Si}_{26}\text{O}_{74}\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — новый титаносиликат с эвдиалитоподобной структурой // *ЗВМО*. 1990. № 1. С. 117—120.

Хомяков А. П., Нечелюстов Г. Н., Аракчеева А. В. Расцветаевит $\text{Na}_{27}\text{K}_8\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{Si}_4[\text{Si}_3\text{O}_9]_4[\text{Si}_9\text{O}_{27}]_4(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_6\text{Cl}_2$ — новый минерал с модулярной эвдиалитоподобной структурой и кристаллохимическая систематика группы эвдиалита // *ЗРМО*. 2006а. № 1. С. 49—65.

Хомяков А. П., Нечелюстов Г. Н., Расцветаева Р. К. Дуалит $\text{Na}_{30}(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Ce}, \text{Sr})_{12}(\text{Na}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Ti})_6 \cdot \text{Zr}_3\text{Ti}_3\text{MnSi}_{51}\text{O}_{144}(\text{OH}, \text{H}_2\text{O}, \text{Cl})_9$ — новый титано-цирконосиликат с модулярной эвдиалитоподобной структурой из Ловозерского щелочного массива, Кольский полуостров, Россия // *ЗРМО*. 2006б. (в печати).

Giuseppetti G., Mazzi F., Tadini C. The crystal structure of eudialyte // *Tscherm. Miner. Petrogr. Mitt.* 1971. Bd 16. S. 105—127.

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

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

Johnsen O., Grice J. D., Gault R. A. Oneillite: a new Ca-deficient and REE-rich member of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada // *Canad. Miner.* 1999b. Vol. 37. P. 1295—1301.

Johnsen O., Ferraris G., Gault R. A. e. a. The nomenclature of eudialyte-group minerals // *Canad. Miner.* 2003. Vol. 41. P. 785—794.

- Khomyakov A. P.* Mineralogy of hyperagpaitic alkaline rocks. Oxford: Clarendon Press, 1995. 224 p.
- Khomyakov A. P.* The distribution of minerals in hyper-agpaitic rocks in terms of symmetry: evolution of views on the number and symmetry of minerals // *Geology Greenland Bulletin*. 2001. Vol. 190. P. 73—82.
- Khomyakov A. P.* New chapter in the mineralogy and crystal chemistry of the eudialyte group / 18th IMA Gen. Meet. Edinburgh, Scotland, 2002. P. 140—141.
- Khomyakov A. P.* Crystal chemical systematics of the eudialyte-group minerals / 32nd Intern. Geol. Congr., Florence, Italy, 2004. P. 309—310.
- Rastsvetaeva R. K., Khomyakov A. P., Chapuis G.* Crystal structure and crystal-chemical features of a new Ti-rich member of the eudialyte family // *Z. Kristallogr.* 1999. Vol. 214. P. 271—278.

Поступило в редакцию
23 ноября 2005 г.

УДК 549.0(470.55)

ЗРМО, № 2, 2006 г.
Zapiski RMO, N 2, 2006

© В. Г. КОРИНЕВСКИЙ, Е. В. КОРИНЕВСКИЙ

КАЛИЙМАГНЕЗИОГАСТИНГСИТ
(K,Na)Ca₂(Mg,Fe²⁺)₄Fe³⁺,Al,Ti][Si₆Al₂O₂₂](OH,Cl)₂ —
НОВЫЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ ВИД АМФИБОЛОВ¹

V. G. KORINEVSKY, E. V. KORINEVSKY. POTASSIC-MAGNESIOHASTINGSITE
(K,Na)Ca₂(Mg,Fe²⁺)₄Fe³⁺,Al,Ti][Si₆Al₂O₂₂](OH,Cl)₂ — THE NEW MINERAL SPECIES OF AMPHIBOLES

Институт минералогии УрО РАН, 456317 Миасс, Челябинской области;
e-mail: kor@ilmeny.ap.ru

The new potassic high-calcium and rich-in-aluminum amphibole — potassic-magnesiosthastingsite was found in blocks of biotite-amphibole gabbro from serpentinite mélange of Ilmenogorsky metamorphic complex at the area of Ilmensky natural reserve (Chelyabinsk district, the South Urals, Russia), precisely at Osinovy mys (Aspen cape) on the lake Bolshoy Ishkul. Composition of this amphibole varies slightly in samples taken from different gabbro blocks, mainly in contents of K₂O, SiO₂, Al₂O₃. For instance, in sample ИК-194-5 its empirical formula was defined as (K_{0.53}Na_{0.47})_{1.0} (Ca_{1.90}Mn_{0.06}Mg_{0.03}Ba_{0.01})_{2.0}(Mg_{2.06}Fe²⁺_{1.35}Fe³⁺_{1.00}Al^{VI}_{0.47}Ti_{0.19}V_{0.01})_{5.08} [Si_{6.03}Al^{IV}_{1.97}]_{8.0}O₂₂](OH_{1.93}O_{0.07})_{2.0} and in the sample ИК-194-16 it makes (K_{0.65}Na_{0.31}Ba_{0.04})_{1.0}(Ca_{1.93}Mn_{0.06}Ba_{0.01})_{2.0}(Mg_{2.32}Fe²⁺_{1.12}Fe³⁺_{0.84}Al_{0.47}Ti_{0.17})_{4.92}[Si_{5.53}Al^{IV}_{2.47}]_{8.0}O₂₂](OH_{1.93}Cl_{0.13})_{2.06}. The host gabbros containing potassic-magnesiosthastingsite have the cenotypal image and the magmatic structure (ophitic, hypidiomorphic one). They seem to be xenoliths rafted from rocks of the deep levels of the Urals earth crust and transported up to surface by protrusions of serpentinites.

Существенно калиевый высокоглиноземистый кальциевый амфибол (калиймагнезиогастингсит) обнаружен нами на Урале в составе биотит-амфиболовых габбро. Последними сложены изолированные глыбы-включения поперечником 0.5—1.5 м в серпентинитовом меланже, который залегает в виде меридиональной тектонической пластины длиной около 600 м и поперечником 200 м среди гнейсов нижней части разреза протерозойских метаморфических толщ Ильменогорского комплекса на Осиновом мысу восточного побережья оз. Большой Ишкуль (Ильменский заповедник, Челябинская область, Южный Урал, Россия; рис. 1). Другие глыбы в меланже сложены фасцитом габбро, энстатитами, клинопироксенитами, горнблендитами, амфиболитами, вебстеритами, родингитами и др. (Кориневский, Кориневский, 2003).

Петрографический облик и минеральный состав расположенных в нескольких метрах друг от друга глыб биотит-амфиболового габбро заметно различаются. В одном случае (обр. ИК-194-5) — это порфиридная неравномернозернистая полнокристаллическая порода массивного сложения, пятнистой текстуры, в которой около 30—60 % объема слагают кристаллы плагиоклаза (лабрадор № 51-58) размером

¹ Минерал и его название рассмотрены КНМ РМО 22 мая 2004 г., утверждены КНМНМ ММА 5 сентября 2005 г.