

Расцветаева Р. К., Пуцаровский Д. Ю., Виноградова Р. А., Пеков И. В. Кристаллическая структура дашкесанита // Кристаллография. 1996. Т. 41. № 1. С. 65—69.

Чуканов Н. В., Конилов А. Н., Задов А. Е., Белаковский Д. И., Пеков И. В. Новый амфибол калиевый хлоропаргасит и условия его формирования в гранулитовом комплексе Сальных тундр (Кольский полуостров) // ЗВМО. 2002. № 2. С. 58—61.

Burke E. A. J., Leake B. E. «Named Amphiboles», a new category of amphiboles recognized by the International Mineralogical Association (IMA) and the proper order of prefixes to be used in amphibole names // Canad. Miner. 2004. Vol. 42. P. 1881—1883.

Jacobson S. S. Dashkesanite: high-chlorine amphibole from St. Paul's rock, Equatorial Atlantic and Transcaucasia, USSR // Smithsonian Contrib. Earth Sci. 1975. Vol. 14. P. 17—20.

Leake B. E. Nomenclature of amphiboles // Amer. Miner. 1978. Vol. 63. P. 1025—1052.

Leake B. E. e. a. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names // Canad. Miner. 1997. Vol. 35. P. 219—246.

Leake B. E. e. a. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature // Canad. Miner. 2003. Vol. 41. P. 1355—1362.

Nickel E. H., Mandarino J. A. Procedures involving the IMA Commission on New Minerals and Mineral Names, and guidelines on mineral nomenclature // Canad. Miner. 1987. Vol. 25. P. 353—377.

Oberti R., Ungaretti L., Cannillo E., Hawthorne F. C. The mechanism of chlor incorporation in amphibole // Amer. Miner. 1993. Vol. 78. P. 746—752.

Oen I. S., Lustenhouwer W. J. Cl-rich biotite, Cl-K hornblende, and Cl-rich scapolite in metaexhalites — Nora, Bergslagen, Sweden // Econ. Geol. 1992. Vol. 87. P. 1638—1648.

Yvon K., Jeitschko W., Parthe E. LAZY PULVERIX — a computer program, for calculating X-ray and neutron diffraction powder patterns //

Поступила в редакцию
30 мая 2005 г.

УДК 549.657 + 548.6

ЗРМО, № 6, 2005 г.
Zapiski RMO, N 6, 2005

© Д. чл. Н. В. ЧУКАНОВ, * М. М. МОИСЕЕВ, ** Р. К. РАСЦВЕТАЕВА, *** К. А. РОЗЕНБЕРГ, ****
А. Е. ЗАДОВ, ***** Д. чл. И. В. ПЕКОВ, **** В. В. КОРОВУШКИН*****

**ГОЛЫШЕВИТ $(\text{Na}, \text{Ca})_{10}\text{Ca}_9(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{72}(\text{CO}_3)(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$,
И МОГОВИДИТ, $\text{Na}_9(\text{Ca}, \text{Na})_6\text{Ca}_6(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Zr}_3\text{Si}_{25}\text{O}_{72}(\text{CO}_3)(\text{OH}, \text{H}_2\text{O})_4$ —
НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ЭВДИАЛИТА
ИЗ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ АГПАЙТОВЫХ ПЕГМАТИТОВ
КОВДОРСКОГО МАССИВА, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ¹**

N. V. CHUKANOV, M. M. MOISEEV, R. K. RASTSVETAeva, K. A. ROZENBERG, A. E. ZADOV,
I. V. PEKOV, V. V. KOROVUSHKIN. GOLYSHEVITE $(\text{Na}, \text{Ca})_{10}\text{Ca}_9(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{72}(\text{CO}_3)(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$,
AND MOGOVIDITE, $\text{Na}_9(\text{Ca}, \text{Na})_6\text{Ca}_6(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Zr}_3\text{Si}_{25}\text{O}_{72}(\text{CO}_3)(\text{OH}, \text{H}_2\text{O})_4$,
THE NEW EUDIALYTE-GROUP MINERALS FROM HIGH-CALCIUM AGPAITIC PEGMATITES
OF KOVDOR MASSIF, KOLA PENINSULA

* Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка

** ФГУ «Музей Самоцветы», Москва, ул. Народного Ополчения, д. 29, корп. 1

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

**** Московский государственный университет, 1198999, Москва, Воробьевы горы

***** НПО «Регенератор», 127018, Москва, ул. Складочная, 6

***** Всероссийский институт минерального сырья, 119017, Москва, Старомонетный пер., 31

New eudialyte-group minerals, golyshevite and mogovidite, have been discovered in calcium-rich peralkaline pegmatites in Kovdor massif, Kola peninsula, Russia. Golyshevite is associated with cancrinite, aegirine-augite,

¹ Новые минералы голышевит и моговидит одобрены Комиссией по новым минералам и названиям минералов ВМО и утверждены Комиссией по новым минералам и названиям минералов ММА 10 января 2005 г. Название «голышевит» утверждено 3 марта 2005 г.

hedenbergite, orthoclase, pectolite, thomsonite-Ca, tacharanite, calcite, mogovidite — with nepheline, acgirine-augite, pectolite, zircon, titanite, humite, andradite, scolecite, calcite. Golyshvite was named after crystallographer Vladimir Mikhailovich Golyshv (1943—2000) from the Mordvinian State University, Saransk, Russia, mogovidite — for the Mountain Mogo-Vid near the mineral locality. The new minerals form brown to reddish-brown grains up to 2 cm in size and, rarely, crystals with main forms {0001}, {10 $\bar{1}$ 1} and {01 $\bar{1}$ 2}; brittle, Mohs' hardness 5½. Golyshvite has non-perfect cleavage on {0001}. Both minerals are uniaxial, optically negative. For golyshvite, $\omega = 1.628(1)$, $\epsilon = 1.618(2)$, $D_{\text{meas}} = 2.89(1)$ g/cm³ (volumetric method); $D_{\text{calc}} = 2.889$ g/cm³. For mogovidite, $\omega = 1.618(1)$, $\epsilon = 1.611(2)$, $D_{\text{meas}} = 2.90(1)$ g/cm³ (volumetric method); $D_{\text{calc}} = 2.908$ g/cm³. The IR, Mössbauer and thermogravimetric data are given. Crystal structures have been studied. Both new minerals are trigonal space group $R\bar{3}m$; for golyshvite, $a = 14.231(3)$, $c = 29.984(8)$ Å; for mogovidite, $a = 14.232(3)$, $c = 30.210(3)$. Unlike eudialyte, in golyshvite Ca prevails in two sites: M(1) and N(4). In mogovidite, Ca prevails in three sites: M(1), N(3) and N(4). Specific mogovidite feature is also the vacant M(3) site. The strongest lines of the powder diffraction pattern [d , Å (I , %) (hkl)] are — golyshvite: 4.30(53)(205), 3.200(46)(208), 2.971(78)(315,135), 2.848(100)(404), 2.597(43)(143), 2.055(51)(3.2.10, 2.3.10); mogovidite: 4.31(64)(205), 3.213(100)(208,306, 036), 3.027(65)(119,119,042), 2.977(91)(315,135), 2.859(79)(404). Chemical compositions of golyshvite and mogovidite are respectively (wt %, electron probe, H₂O content — by Penfield method, CO₂ — by selection sorption, valency of Fe — from the Mössbauer data): Na₂O 9.19 and 9.78; K₂O 0.46 and 0.36; CaO 17.24 and 18.03; MnO 0.69 and 0.68; FeO 1.19 and 1.32; Fe₂O₃ 4.44 and 3.78; Al₂O₃ 0.14 and 0; La₂O₃ 0.15 and 0.15; Ce₂O₃ 0.29 and 0.28; SiO₂ 48.74 and 47.49; TiO₂ 0 and 0.23; ZrO₂ 12.03 and 11.90; Nb₂O₅ 2.63 and 1.72; Cl 0.24 and 0.52; H₂O 1.30 and 1.25; CO₂ 1.52 and 1.45; —O=Cl₂ —0.05 and —0.12; total 100.20 and 98.82. Empirical formulac arc ($Z = 3$): (Na_{0.02}Ca_{0.43}K_{0.30}) Σ 9.75 (Ca_{5.92}Ce_{0.05}La_{0.03}) Σ 6.00 Fe_{1.69}Fe_{0.50}²⁺Mn_{0.29} Zr_{2.97}(Nb_{0.60}Si_{0.66}Al_{0.08})Si₂₄O₇₂(OH)_{2.37}(CO₃)_{1.05}Cl_{0.21}·1.01H₂O (golyshvite), and (Na_{9.87}Ca_{4.05}K_{0.24} Ce_{0.06}La_{0.03}) Σ 14.25 Ca_{6.00}Fe_{1.48}³⁺Fe_{0.58}²⁺Mn_{0.30}Zr_{3.02}Ti_{0.09}(Nb_{0.40}Si_{0.71})Si₂₄O₇₂(OH)_{2.86}(CO₃)_{1.03}Cl_{0.46}·0.74H₂O (mogovidite). Type material is deposited in Fersman Mineralogical Museum of Russian Academy of Sciences, Moscow (registration numbers: golyshvite — 3220/1; mogovidite — 3221/1; 3290/1).

Минералы группы эвдиалита широко распространены в агпаитовых породах, где являются важнейшими концентраторами ряда редких элементов, прежде всего Zr, Hf, Nb, REE. Иногда эти минералы образуют гигантские богатые месторождения. Группа эвдиалита характеризуется беспрецедентным кристаллохимическим разнообразием. Общая упрощенная кристаллохимическая формула минералов имеет вид [A(1)A(2)A(3)A(4)A(5)]₃M(1)₆M(2)_{3–6}M(3)M(4)Z₃[Si₂₄O₇₂]Ø₄X(1)X(2), где разными символами обозначены группы позиций, концентрирующих различные элементы: A(1—5) = Na, H₃O⁺, 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, H₃O; M(3), M(4) = Si, Nb, Ti, W, Na; Z = Zr, Ti, Nb; Ø = O, OH, H₂O; X(1), X(2) = Cl, F, H₂O, OH, CO₃, SO₄.

Основу структуры эвдиалита составляет низкоплотный цеолитоподобный каркас, состоящий из тетраэдрических колец (состава Si₃O₉ и Si₉O₂₇) и шестичленных колец, образованных реберно-связанными октаэдрами M(1)O₆. Эти структурные элементы соединяются друг с другом атомами M(2) и Z. Группы позиций M(3) и M(4) находятся вблизи центров колец Si₉O₂₇. В настоящее время в группе эвдиалита выделяют около 20 минеральных видов (Johnsen, Grice, 1999; Johnsen e. a., 2003; Чуканов и др., 2004 б).

Химический состав и кристаллохимические особенности минералов группы эвдиалита из разных парагенезисов весьма специфичны и являются важными типоморфными признаками. Яркой иллюстрацией этого положения являются описываемые ниже новые представители группы эвдиалита, обнаруженные в своеобразных высококальциевых агпаитовых пегматитах Ковдорского щелочного комплекса на Кольском полуострове (Чуканов и др., 2003; Моисеев, Чуканов, в печати), — голышевит, названный в память о кристаллографе из Мордовского государственного университета (г. Саранск) Владимире Михайловиче Голышеве (1943—2000), выполнившем одно из двух первых независимых исследований кристаллической структуры эвдиалита (Голышев и др., 1971, 1972), и моговидит, название которого связано с горой Мого-Вид, находящейся в Ковдорском массиве.

Эталонные образцы голышевита и моговидита переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве (соответственно рег. № 3220/1 и рег. № 3221/1, 3290/1).

Условия нахождения и физические свойства. Голышевит найден в северном борту карьера Слюдяного рудника, в осевой части пегматитовой жилы № 10 (Моисеев, Чуканов, в печати), пересекающей ранний кальцитовый карбонатит. В этой ассо-

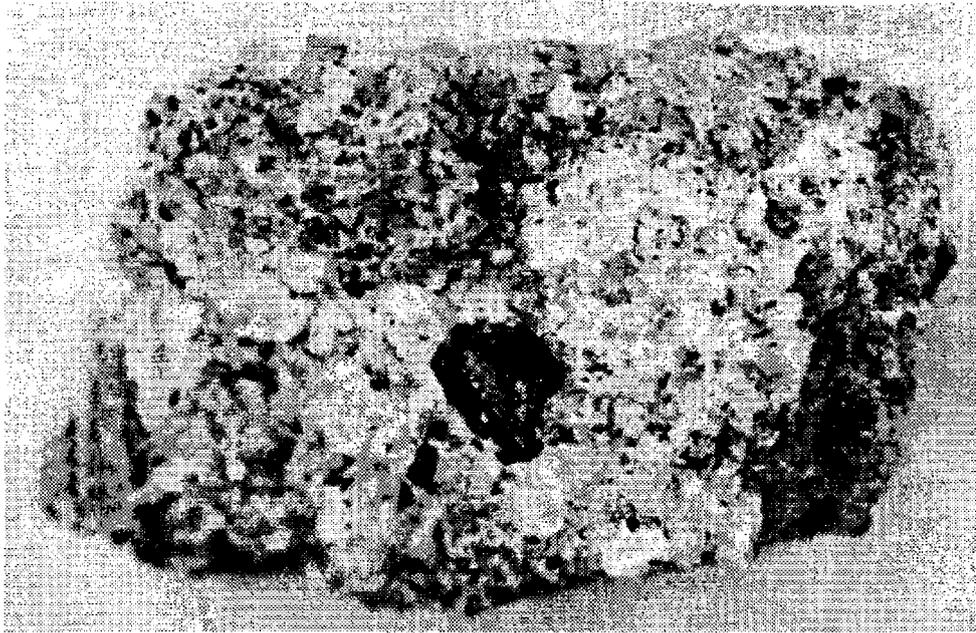


Рис. 1. Кристалл голышевита (размером 7 мм) в породе из зоны контакта пегматита с карбонатитом.

Fig. 1. Crystal of golyshevite (7 mm in size) in rock from the contact between pegmatite and carbonatite.

циации отмечены крупные таблитчатые кристаллы ортоклаза, агрегаты длиннопризматических кристаллов пектолита, кальцит, псевдоморфозы томсонита-Са по канкриниту, призматические кристаллы эгирин-авгита. Местами наблюдаются скопления идиоморфных кристаллов голышевита, содержание которого в отдельных участках пегматита достигает 70 %. Кристаллы этого минерала темно-коричневые, по морфологии аналогичны ранее охарактеризованным кристаллам фекличевита (Пеков и др., 2001).

Голотипный образец моговидита найден в северном борту железорудного карьера на горизонте 115 м, в тонком (мощностью до 1 см) прожилке преимущественно нефелин-пектолитового состава. Из других минералов в прожилке отмечены эгирин-авгит, циркон, титанит, гумит, андрадит, сколецит и кальцит. Вмещающей породой является мелкозернистый ийолит. Это первая находка минералов группы эвдиалита в пределах Ковдорского железорудного месторождения. Кроме того, минерал, идентифицированный как моговидит по химическому составу и физическим свойствам, был найден в отвалах карьера Слюдяного рудника в образце, представляющем собой фрагмент пегматитовой жилы, в ассоциации с канкринитом, геденбергитом, пектолитом, томсонитом-Са и кальцитом.

Оба новых минерала образуют красновато-коричневые таблитчатые зерна размером до 2 см, реже идиоморфные кристаллы (рис. 1) с преобладающими формами $\{0001\}$, $\{10\bar{1}1\}$, $\{01\bar{1}2\}$. Черта белая, блеск стеклянный. Новые минералы хрупкие, излом раковистый, твердость по шкале Мооса 5.5. Голышевит имеет несовершенную спайность по $\{0001\}$; у моговидита спайность не наблюдается. Оба минерала оптически одноосные, отрицательные, обладают слабым плеохроизмом (от бесцветного до желтого). Для голышевита $N_e = 1.618(2)$, $N_o = 1.628(1)$; для моговидита $N_e = 1.611(2)$, $N_o = 1.618(1)$. Плотность, измеренная волюмометрическим методом, составляет 2.89(1) г/см³ для голышевита и 2.90 г/см³ для моговидита; вычисленная плотность — соответственно 2.889 и 2.908 г/см³. Потеря массы при прокаливании в вакууме до 1000 °С со скоростью нагрева 40 град/мин составляет 3.04 % для голышевита (навеска 146.3 мг) и 3.10 % для моговидита (навеска 88.7 мг).

Спектроскопические данные. Индивидуальность голышевита и моговидита среди других минералов группы эвдиалита первоначально была установлена методом ИК-спектроскопии. В то же время по ряду спектральных характеристик эти минералы сходны друг с другом. Как видно на рис. 2 и в табл. 1, в ИК-спектрах обоих минералов присутствуют характеристические полосы валентных колебаний группы CO_3^{2-} в диа-

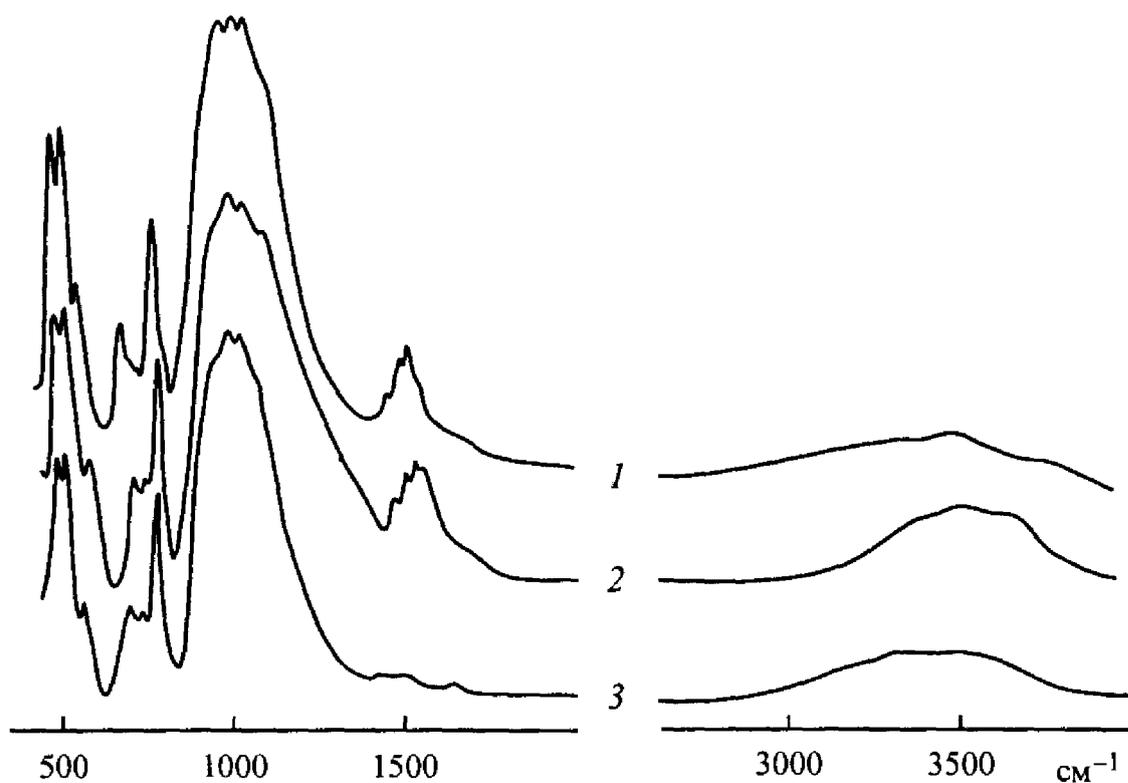


Рис. 2. ИК-спектры моговидита (1), голышевита (2) и фекличевита (3).

Fig. 2. IR spectra of mogovidite (1), golyshchevite (2) and feklischevite (3).

Таблица 1

Волновые числа полос в ИК-спектре голышевита и моговидита

Wave numbers of bounds in IR spectra of golyshchevite and mogovidite

Голышевит	Моговидит	Тип связи
3630 (w, b)	3600 (sh)	$\nu(\text{H}_2\text{O})$
3510 (b)	3460 (w, b)	$\nu(\text{OH})$
3350 (sh)	3300 (sh)	
1625 (w)	1620 (sh)	$\delta(\text{H}_2\text{O})$
1510 (w)	1515 (w)	$\nu(\text{CO}_3)$
1485	1490 (w)	
1453 (w)	1456 (w)	
1417 (w)	1418 (w)	
1068 (s)	1060 (sh)	$\nu(\text{Si—O})$
1006 (s)	1014 (s)	
970 (s)	972 (s)	
935 (sh)	928 (s)	
910 (sh)		
741	738	Коллективные колебания Si, O-колец
707	700 (sh)	$\delta(\text{O—Si—O})$
661	659	
545 (sh)	545 (sh)	$\nu(^{4}\text{Fe}^{2+}\text{—O})$
530	529	$\nu(\text{Fe}^{3+}\text{—O})$
479 (s)	482 (s)	$\delta(\text{Si—O—Si})$
453 (s)	452 (s)	

Примечание: b — широкая полоса, sh — плечо, s — сильная полоса, w — слабая полоса, ν — валентные колебания, δ — деформационные колебания.

Мёссбауэровские параметры голышевита и моговидита

Mössbauer parameters of golyshévite and mogovidite

Минерал	Дублеты	Изомерный сдвиг δ , мм/с	Квадрупольное расщепление Δ , мм/с	Ширина резонансной линии Γ , мм/с	Площади дублетов S , % отп.	Коэффициент окисления $Fe K_0$
Голышевит	$Fe^{3+}(1)$	0.35	0.90	0.58	78.0	0.77
	$Fe^{2+}(2)$	1.12	2.19	0.37	10.0	
	$Fe^{2+}(3)$	0.82	0.41	0.31	12.0	
Моговидит	$Fe^{3+}(1)$	0.36	0.93	0.58	72.0	0.72
	$Fe^{2+}(2)$	1.08	2.11	0.44	15.0	
	$Fe^{2+}(3)$	0.83	0.40	0.39	13.0	

Примечание. Ошибки определения δ и $\Delta \pm 0.01$ мм/с; $S \pm 2.0\%$.

пазоне 1417—1515 cm^{-1} , а также полосы H_2O и OH^- . Характерная для эвдиалита полоса 545 cm^{-1} , относящаяся к валентным колебаниям $[^{41}Fe^{2+}-O]$, в спектрах голышевита и моговидита резко ослаблена и проявляется лишь в виде плеча. В то же время в обоих спектрах присутствует четкая полоса 529—530 cm^{-1} , относящаяся к валентным колебаниям связи $Fe^{3+}-O$ (Пеков и др., 2001). Все эти особенности ИК-спектров новых минералов хорошо согласуются с данными рентгеноструктурного анализа (см. ниже), а также с данными мёссбауэровской спектроскопии (ЯГР).

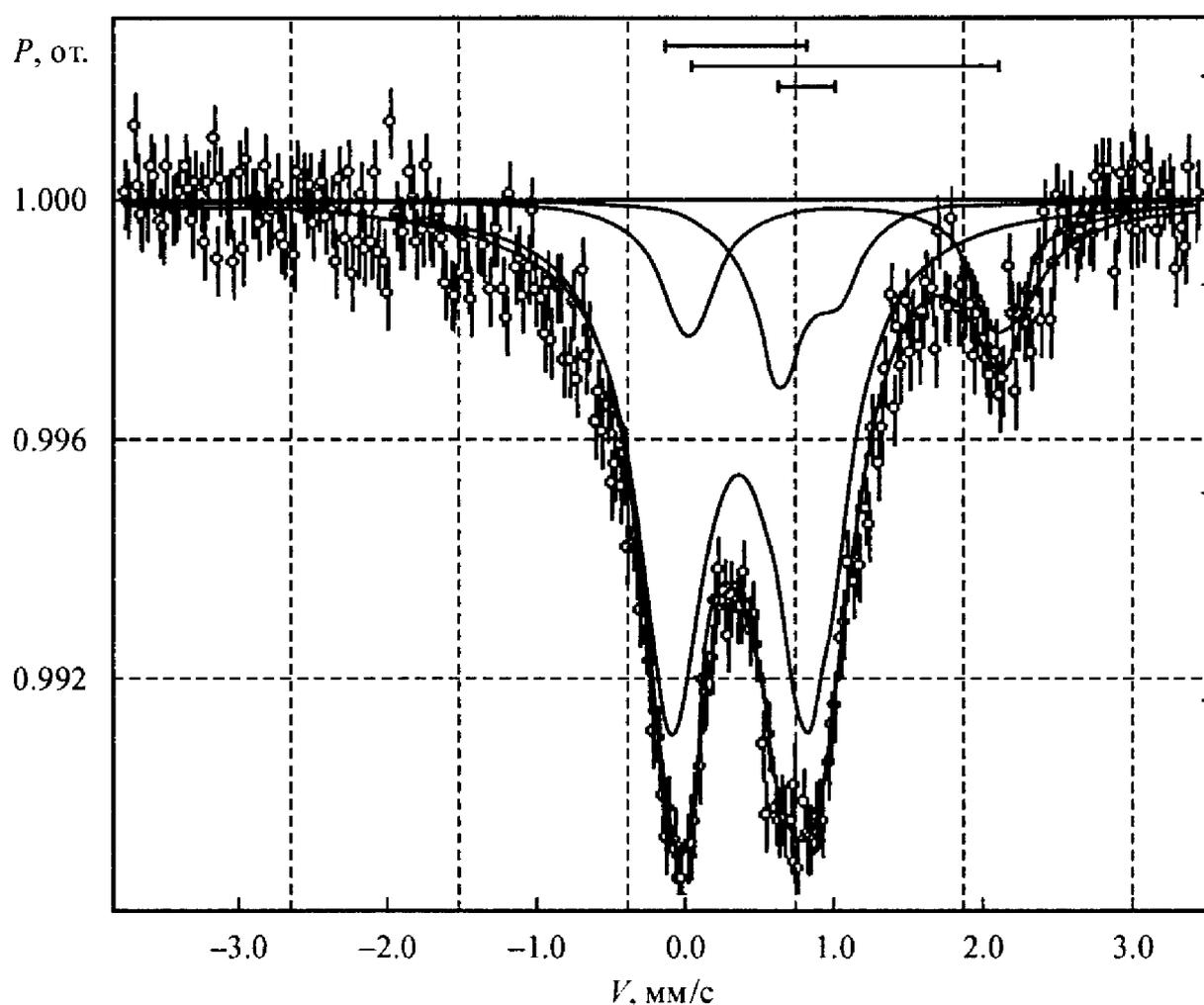


Рис. 3. Мёссбауэровский спектр моговидита.

Fig. 3. Mössbauer spectrum of mogovidite.

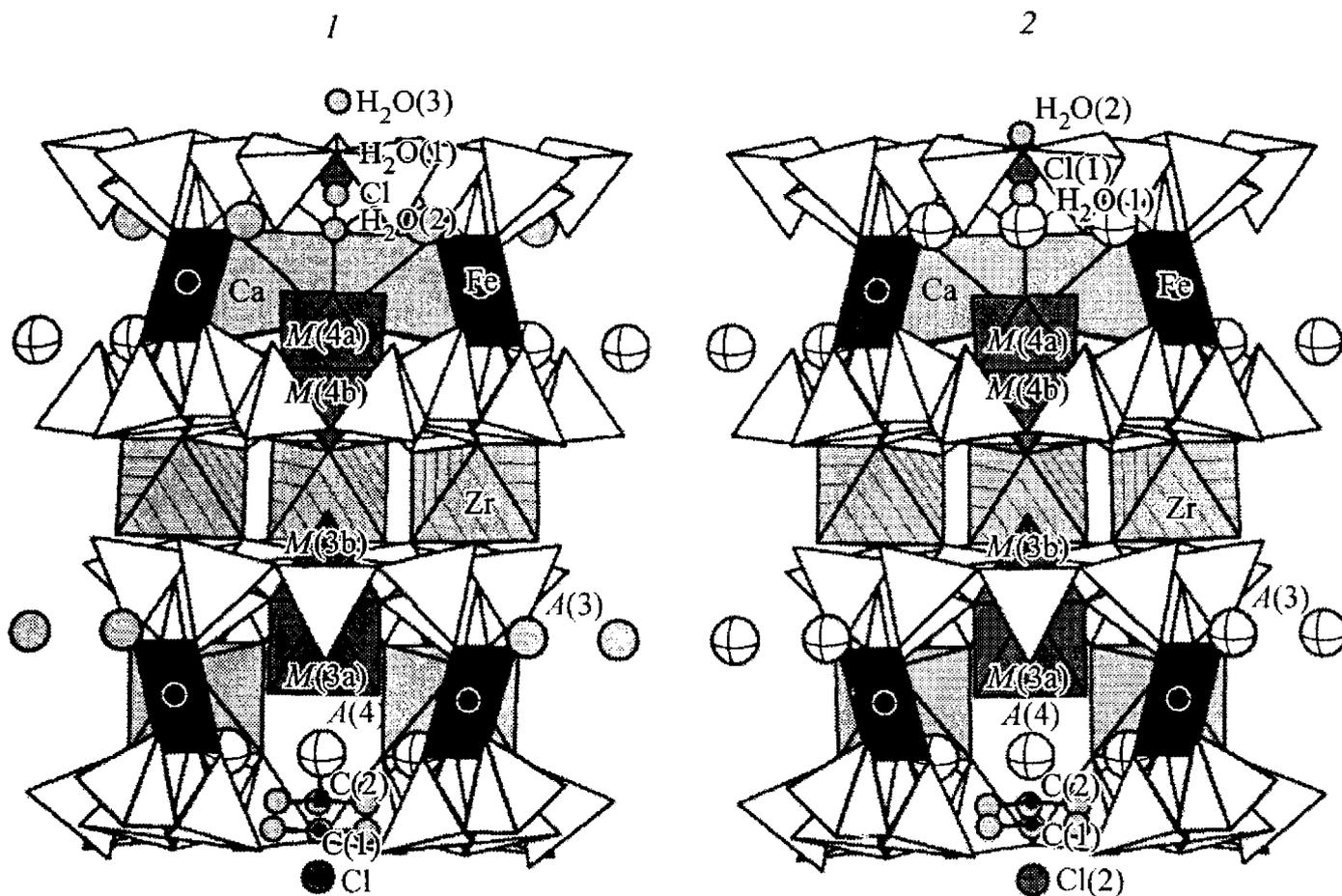


Рис. 4. Кристаллические структуры голышевита (1) и моговидита (2). Проекция на плоскость (110).

Fig. 4. Crystal structures of golyshchevite (1) and mogovidite (2); projection on the (110) plane.

ЯГР-спектральные измерения проводились на спектрометре электродинамического типа MS-1104Em в режиме постоянных ускорений с источником ^{57}Co в матрице хрома при комнатной температуре. Мёссбауэровские спектры регистрировались в 256 каналах компьютера и обрабатывались по программе «Univem», разработанной в РГУ (Ростов) с использованием лоренцевой формы описания резонансных линий и равенства их ширины в каждом дублете. Изомерный сдвиг определялся относительно металлического железа. Для измерения использовались порошковые пробы, измельченные до 0.05—0.07 мм, навеской 100 мг. Параметры спектров обоих образцов, определенные в результате компьютерной обработки, приведены в табл. 2.

Оба спектра представляют собой совокупность трех дублетов (рис. 3): по два дублета от ионов Fe^{2+} и по одному — от Fe^{3+} . Близость мёссбауэровских параметров изученных образцов указывает на их сходство как по величине коэффициента окисления железа $K_0 = \text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+})$, так и по ближнему окружению ионов железа в структуре. В группе позиций M(2) преобладает трехвалентное железо, спектральные характеристики которого близки таковым для Fe^{3+} в октаэдрической координации (Menil, 1985). Двухвалентное железо занимает две позиции: плоский квадрат и четырехгранную пирамиду; это, с одной стороны, согласуется с литературными данными для минералов группы эвдиалита (Pol'shin e. a., 1991), а с другой — находится в соответствии со значениями изомерного сдвига для Fe^{2+} соответствующих координаций по Ф. Менилу (Menil, 1985).

Рентгенографические данные и кристаллические структуры. Кристаллические структуры голышевита и моговидита изучены на монокристаллах (Розенберг и др., 2005; Розенберг и др., в печати; рис. 4). Оба минерала тригональные (пространственная группа $R\bar{3}m$), параметры элементарных ячеек составляют: для голышевита $a = 14.231(3)$, $c = 29.984(8)$ Å; для моговидита $a = 14.232(3)$, $c = 30.210(3)$ Å.

Как известно (Johnsen, Grice, 1999; Johnsen e. a., 2003; Хомяков и др., 2003; Чуканов и др., 2004 б), позиция A(4) в структуре минералов группы эвдиалита, в которой,

Преобладающие элементы в «ключевых» позициях некоторых минералов группы эвдиалита
 Elements dominating in the «key» sites of some eudyalite group minerals

Минерал	Минерал или группа позиций							Источник
	A(3)	A(4)	M(2)	M(3)	M(4)	X(1)	X(2)	
Цирсилит-Се	Na	REE	Mn	Nb	Si	C	O	Хомяков и др., 2003
Карбокентбруксит	Na	Na	Mn	Nb	Si	C	O	То же
Кентбруксит	Na	Na	Mn	Nb	Si	F	F	Johnsen с.а., 1998
Фскличевит	Ca	Na	Fe	Nb	Si	O	Cl	Псков и др., 2001
Гольцшевит	Na	Ca	Fe	Si	Nb	C	O	Настоящая работа
Моговидит	Ca	Ca	Fe	□	Si	C	O	» »

Примечание. В таблицу вошли CO₃-содержащие минералы группы эвдиалита и их некарбонатные аналоги (во всех случаях пространственная группа R3m).

Таблица 4

Данные порошковой рентгенографии для голышевита
 X-ray powder pattern of golyshelite

$I_{изм}$	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{выч}, \text{Å}^*$	hkl	$I_{изм}$	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{выч}, \text{Å}^*$	hkl
5	10.02	9.995	003	15	2.647	2.646	324, 234
24	7.12	7.115	110	43	2.597	2.597	143
33	6.41	6.404	104	18	2.496	2.499	0.0.12
8	6.04	6.036	021	4	2.461	2.457	051
38	5.70	5.699	202	25	2.375	2.380	048
6	5.39	5.392	015			2.372	330
7	5.00	4.997	006	7	2.321	2.322	241, 421
53	4.30	4.298	205	9	2.254	2.257	238, 328
31	4.09	4.089	116, 116	27	2.153	2.149	4.0.10
6	4.05	4.046	107	8	2.133	2.136	057
13	3.959	3.956	214, 124			2.135	0.3.12
26	3.802	3.800	303			2.131	3.1.11, 1.3.11
4	3.678	3.679	125, 215	51	2.055	2.057	3.2.10, 2.3.10
12	3.584	3.586	018	5	2.010	2.012	063
25	3.560	3.558	220	14	1.980	1.978	428, 248
30	3.515	3.517	027	11	1.938	1.936	253, 253
18	3.399	3.396	131, 311	7	1.900	1.900	066, 606
6	3.350	3.352	223, 223	33	1.832	1.836	256, 526
5	3.332	3.332	009			1.830	1.4.12, 4.1.12
46	3.200	3.202	208				4.1.12 1.4.12
51	3.176	3.173	036	26	1.778	1.779	440
20	3.153	3.153	217, 127	7	1.708	1.707	2.3.14, 3.2.14
7	3.017	3.017	119, 119	10	1.677	1.676	446, 446
78	2.971	2.970	315, 135	5	1.646		
5	2.921	2.920	128, 218	8	1.605		
9	2.898	2.898	226, 226	5	1.560		
100	2.848	2.850	404	6	1.548		
16	2.693	2.696	0.2.10	17	1.484		
		2.689	140	5	1.424		
13	2.670	2.672	137, 317	6	1.407		

Примечание. * Вычислено из структурных данных.

как правило, преобладает натрия, в некоторых случаях проявляет тенденцию к концентрированию двух- и трехвалентных катионов (Ca, Sr, Mn²⁺, REE). В ряде случаев эта тенденция может быть связана с требованием локального баланса зарядов, например, при замене Cl⁻ на CO₃²⁻ или SO₄²⁻ в координационной сфере позиции А(4). В голышевите и моговидите кальций доминирует в позиции А(4), причем в моговидите Ca преобладает также и в позиции А(3), которая в других минералах группы эвдиалита занята только однозарядными катионами (натрием или оксонием). Очевидно, эта особенность кристаллохимии моговидита связана с высококальциевой обстановкой его образования. Голышевит по химическому составу является CO₃-доминантным аналогом фекличевита (Пеков и др., 2001), однако в структурном отношении полной аналогии между этими минералами нет из-за различий в заселенности позиций М(3) и М(4): в голышевите имеет место инверсия положений Si и Nb по сравнению со всеми другими Nb-доминантными минералами группы эвдиалита.

В отличие от эвдиалита в новых минералах большая часть железа находится в трехвалентном состоянии. Ближайшее окружение Fe³⁺ образуют четыре атома кислорода, имеющие конфигурацию плоского квадрата. Две молекулы воды, находящиеся на большем расстоянии от иона Fe³⁺, достраивают координационный полиэдр до вытянутого октаэдра, чем, очевидно, и объясняются наблюдаемые характеристики спектра ЯГР.

Наиболее интересной особенностью новых минералов является распределение дополнительных анионов по позициям на оси 3-го порядка. В голышевите позиция Х(1) расщеплена на две близко расположенные подпозиции, статистически занятые группами CO₃²⁻ с общей заселенностью 100 %; позиция Х(2) имеет состав (H₂O)_{0.71}Cl_{0.29} и расщеплена на четыре подпозиции, одна из которых частично заселена хлором, а три содержат молекулы воды. В моговидите позиция Х(1) расщеплена на три подпозиции, две из которых заняты группами CO₃²⁻ с общей заселенностью 94 %, а третья заселена хлором на 6 %; позиция Х(2) имеет состав (H₂O)_{0.54}Cl_{0.43} и расщеплена на три подпозиции, одна из которых частично заселена хлором, а две содержат молекулы воды. Таким образом, в обоих минералах группы CO₃²⁻ абсолютно преобладают среди Х-анионов. Для сравнения: в фекличевите Х(1) занята H₂O, а Х(2) содержит Cl⁻ и H₂O (Пеков и др., 2001). В CO₃-доминантных цирсилите-(Ce) и карбокентбруксите составы позиции Х(1) соответственно следующие: (CO₃)_{0.43}Cl_{0.3} и (CO₃)_{0.58}Cl_{0.27} (Хомяков и др., 2003), причем в Х(2) группы CO₃²⁻ отсутствуют.

Распределение различных элементов по позициям в структурах голышевита, моговидита и родственных им минералов группы эвдиалита дано в табл. 3.

Рентгенограммы порошка голышевита и моговидита (табл. 4, 5) получены на дифрактометре RIGAKU с использованием монокроматического CuK_{α1}-излучения.

Химический состав. Химический состав (катионы и хлор) голышевита и моговидита изучен электронно-зондовым методом. В табл. 6 для каждого минерала приведены усредненные данные по результатам 5 локальных анализов. Содержание CO₂ определено методом селективной сорбции продуктов прокаливания при 1000 °С в атмосфере кислорода, количество H₂O определено методом Пенфилда.

Эмпирические формулы новых минералов имеют следующий вид (способ расчета выбран с учетом структурных данных): (Na_{9.02}Ca_{0.43}K_{0.30})_{Σ9.75}(Ca_{5.92}Ce_{0.05}La_{0.03})_{Σ6.00}Fe³⁺_{1.69}Fe²⁺_{0.50}Mn_{0.29}Zr_{2.97}(Nb_{0.60}Si_{0.66}Al_{0.08})Si₂₄O₇₂(OH)_{2.37}(CO₃)_{1.05}Cl_{0.21} · 1.01H₂O (голышевит, расчет на Si_{24.66}); (Na_{9.87}Ca_{4.05}K_{0.24}Ce_{0.06}La_{0.03})_{Σ14.25}Ca_{6.00}Fe³⁺_{1.48}Fe²⁺_{0.58}Mn_{0.30}Zr_{3.02}Ti_{0.09}(Nb_{0.40}Si_{0.71})Si₂₄O₇₂(OH)_{2.86}(CO₃)_{1.03}Cl_{0.46} · 0.74H₂O (моговидит, расчет на Si_{24.71}).

Идеализированные формулы: (Na,Ca)₁₀Ca₉(Fe³⁺,Fe²⁺)₂Zr₃NbSi₂₅O₇₂(CO₃)(OH)₃ · H₂O (голышевит); Na₉(Ca,Na)₆Ca₆(Fe³⁺,Fe²⁺)₂Zr₃□Si₂₅O₇₂(CO₃)(OH,H₂O)₄ (моговидит).

Как отмечалось выше, в отвалах Слюдяного рудника на Ковдорском флогопитовом месторождении сделана вторая находка моговидита. По данным электронно-зондового анализа, содержания компонентов в составе этого образца следующие (мас. %): Na₂O 10.16, K₂O 0.58, CaO 18.13, MnO 0.57, FeO 4.53, ZrO₂ 11.74, Nb₂O₅ 1.70, SiO₂ 49.63, Cl⁻ 0.31, O=Cl₂ -0.07, сумма 97.28. Соответствующая эмпирическая формула (в расчете на 25 атомов Si) имеет вид: Na_{9.92}K_{0.38}Ca_{9.78}Fe_{1.91}Mn_{0.24}Zr_{2.89}Nb_{0.39}Si₂₅O₇₂(CO₃)_{≈1}(OH,F,O,H₂O)_x.

Данные порошковой рентгенографии для моговидита

X-ray powder pattern of mogovidite

$I_{\text{изм}}$	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	$d_{\text{выч}}, \text{Å}^*$	hkl
4	10.04	10.033	003
11	7.14	7.127	110
37	6.43	6.425	104
5	6.06	6.046	021
20	5.72	5.710	202
12	5.42	5.411	015
17	5.02	5.017	006
64	4.31	4.309	205
38	4.11	4.115, 4.110, 4.110	300, 116, 116̄
9	3.97	3.965, 3.965	124̄, 214
18	3.81	3.807	303
7	3.69	3.688, 3.688	215̄, 125
34	3.604	3.599	018
41	3.596	3.563	220
27	3.406	3.402, 3.402	131, 311̄
13	3.344	3,358, 3.358, 3.338, 3.338	223̄, 223, 132̄, 312
100	3.213	3.213, 3.181, 3.181	208, 306, 036
44	3/163	3.162, 3.162	217, 127̄
65	3.027	3.028, 3.028, 3.023	119, 119̄, 042
91	2.977	2.976, 2.976	135̄, 315
17	2.906	2.905	226̄, 226
79	2.859	2.855	404
46	2.703	2.705, 2.694, 2.694	0.2.10, 140, 410
28	2.680	2.678, 2.678	317̄, 137
18	2.651	2.650, 2.650	324, 234̄
45	2.595	2.595	039
13	2.529	2.529	2.1.10, 1.2.10̄
32	2.507	2.508	0.0.12
6	2.462	2.460	051
10	2.438	2.439, 2.439	229̄, 229
11	2.384	2.386	048
7	2.327	2.326	241, 421̄
8	2.263	2.263, 2.263, 2.261, 2.261	328̄, 328, 3.1.10̄, 1.3.10
40	2.155	2.155	4.0.10
22	2.137	2.141, 2.138, 2.138	057, 1.3.11̄, 3.1.11
25	2.112	2.118, 2.098, 2.098	0.1.14, 419̄, 149
12	2.063	2.064, 2.063, 2.063	508, 3.2.10, 2.3.10̄
8	2.051	2.057, 2.050, 2.050	600, 247, 427̄
13	1.983	1.983, 1.983	428, 248̄
6	1.937	1.937, 1.937	339, 339̄
5	1.903	1.903, 1.903	606, 066
6	1.857	1.852	4.0.13
16	1.834	1.839, 1.839, 1.836, 1.836, 1.836, 1.836, 1.835, 1.835	526̄, 256, 1.4.12, 4.1.12, 4.1.12̄, 1.4.12, 437, 347
10	1.797	1.799, 1.793, 1.793	0.2.16, 2.3.13̄, 3.2.13
10	1.779	1.782	440
21	1.762	1.764, 1.760, 1.760	0.4.14, 531̄, 531
4	1.746	1.748, 1.748	2.2.15, 2.2.15̄
10	1.711	1.717, 1.712, 1.712, 1.709, 1.709	704, 2.3.14, 3.2.14, 621, 261̄

Таблица 5 (продолжение)

$I_{изм}$	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{выч}, \text{Å}^*$	hkl
8	1.699	1.701, 1.701	$62\bar{2}, 262$
7	1.680	1.679, 1.679	$44\bar{6}, 446$
7	1.669	1.669, 1.669	$624, 26\bar{4}$
11	1.643	1.647, 1.647, 1.643, 1.643	$265, 625, 4.2.\bar{13}, 2.4.13$
14	1.625	1.628, 1.628	$1.1.18, 1.1.18$
29	1.604	1.606	$4.0.16$
21	1.565	1.567, 1.567	$2.3.\bar{16}, 3.2.16$
6	1.542	1.545, 1.545, 1.541	$5.1.\bar{14}, 1.5.14, 081$
2	1.525	1.526, 1.526	$3.4.\bar{13}, 4.3.13$
3	1.513	1.514, 1.514, 1.512	$2.2.18, 2.2.\bar{18}, 084$
5	1.493	1.496	$0.5.16$
7	1.482	1.482, 1.482, 1.482	$5.3.11, 3.5.\bar{11}, 0.7.11$
6	1.463	1.464, 1.464, 1.463, 1.463	$4.2.\bar{16}, 2.4.16, 27\bar{5}, 725$
9	1.433	1.432, 1.432, 1.428	$1.2.20, 2.1.\bar{20}, 808$
5	1.406	1.405, 1.405	$81\bar{5}, 185$

Примечание. * Вычислено из структурных данных.

Индекс сходимости состава, показателей преломления и плотности по критерию Гладстона—Дейла $1 - K_p/K_c$ составляет -0.006 для голышевита и 0.012 для моговидита.

Особенности генезиса. Голышевит и моговидит — самые богатые кальцием среди всех известных минералов группы эвдиалита. По содержанию этого элемента они превосходят в том числе и распространенный в пегматитах Ковдорского флогопитового месторождения фекличевит (до 16.9 мас. % CaO), который до настоящего времени оставался наиболее высококальциевым членом группы. Столь сильное обогащение кальцием голышевита и моговидита обусловлено особенностями их генезиса. Ковдорские пегматиты относятся к редкому в природе типу агпаитовых «пегматитов скрещения» (Чуканов и др., 2003). Они слагают достаточно тонкие (мощность не более первых десятков сантиметров даже в раздувах) жильные тела, в очень существенной степени ассимилировавшие компоненты вмещающих пород, в первую очередь Ca и CO₂, из наиболее реакционноспособных кальцитовых карбонатитов. Кальциевая и карбонатная специфика этих пегматитов ярко выражена в их минеральном составе:

Таблица 6

Химический состав голышевита и моговидита (мас. %)
Chemical composition of golyshveite and mogovidite (wt %)

Компонент	Голышевит	Моговидит	Компонент	Голышевит	Моговидит
Na ₂ O	9.19	9.78	SiO ₂	48.74	47.49
K ₂ O	0.46	0.36	TiO ₂	Н.п.о.	0.23
CaO	17.24	18.03	ZrO ₂	12.03	11.90
MnO	0.69	0.68	Nb ₂ O ₅	2.63	1.72
FeO	1.19	1.32	Cl	0.24	0.52
Fe ₂ O ₃	4.44	3.78	H ₂ O	1.30	1.25
Al ₂ O ₃	0.14	Н.п.о.	CO ₂	1.52	1.42
La ₂ O ₃	0.15	0.15	-O=Cl ₂	-0.05	-0.12
Ce ₂ O ₃	0.29	0.28	Сумма	100.20	98.82

Примечание. Н.п.о. — содержание компонента ниже порога обнаружения.

вместо нефелина здесь нередко наблюдается породообразующий канкринит, вместо «нормального» эвдиалита — высококальциевые CO_3 -доминантные минералы группы эвдиалита, пироксены представлены не эгирином, а диопсидом, геденберgitом и эгирином-авгитом, много пектолита, обычен кальцит. Поздний комплекс минералов еще более обогащен кальцием. Так, вместо типичного для агпаитовых пегматитов «чистой линии» процесса натролитизации здесь проявлены томсонитизация и даже сколецитизация фельдшпатоидов, обилён кальцит, характерны тоберморит, тахеренит (оба представлены CO_3 -содержащими разновидностями), кафетит. В то же время в этих пегматитах присутствуют типоморфные минералы агпаитовых пород — эвдиалит, члены группы лампрофиллита, беталомоносвит, лоренцевит и др. Таким образом, рассматриваемые тела можно с полным правом назвать высококальциевыми агпаитовыми пегматитами.

Минералы группы эвдиалита вместе с калиевым полевым шпатом, фельдшпатоидами, пироксеном, набалампрофиллитом входят в состав раннего парагенезиса этих пегматитов. Появление столь высококальциевых членов группы эвдиалита, как фекличевит и особенно голышевит и моговидит, говорит о том, что пегматитообразующая система была «открытой» для взаимодействия с вмещающими породами с самого начала кристаллизации. Если предположить, что ковдорские жилы кристаллизовались преимущественно из расплава, как большинство агпаитовых пегматитов в других массивах (Когарко, 1977), то «скрещение» на ранних стадиях их формирования, скорее всего, носило характер магматического замещения. В пользу гипотезы «скрещения» говорит и тот факт, что в ийолитах Ковдорского массива залегают «нормальные» агпаитовые пегматиты с нефелином и типичным эвдиалитом, без канкринита и высококальциевых минералов группы эвдиалита (Чуканов и др., 2004 а). Степень изменения (контаминации кальцием) для пегматитовых тел, секущих кальцитовый карбонатит, существенно зависит от их мощности — наиболее богаты кальциевыми минералами тонкие жилы, такие как пегматит с голышевитом, тогда как более мощные тела в целом характеризуются меньшим Ca/Na отношением (пегматиты с фекличевитом).

Авторы благодарны Л. А. Левицкой за помощь в получении дифрактометрических данных.

Работа выполнена при поддержке совместного гранта РФФИ и BNTS (Австрия) № 03-05-20011.

Список литературы

- Голышев В. М., Симонов В. И., Белов Н. В. О кристаллической структуре эвдиалита // Кристаллография. 1971. Т. 16. Вып. 1. С. 93—98.
- Голышев В. М., Симонов В. И., Белов Н. В. Кристаллическая структура эвдиалита // Кристаллография. 1972. Т. 17. Вып. 6. С. 1119—1123.
- Когарко Л. Н. Проблемы генезиса агпаитовых магм. М.: Наука, 1977. 294 с.
- Моисеев М. М., Чуканов Н. В. Минералогия щелочных пегматитов и гидротермалитов Ковдорского флогопитового месторождения // Новые данные о минералах (в печати).
- Пеков И. В., Екименкова И. А., Чуканов Н. В., Расцветова Р. К., Кононкова Н. Н., Пекова Н. А., Задов А. Е. Фекличевит $\text{Na}_{11}\text{Ca}_9(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Zr}_3\text{Nb}[\text{Si}_{25}\text{O}_{73}](\text{OH}, \text{H}_2\text{O}, \text{Cl}, \text{O})_5$ — новый минерал группы эвдиалита из Ковдорского массива, Кольский полуостров // ЗВМО. 2001. Вып. 3. С. 55—65.
- Расцветова Р. К., Екименкова И. А., Пеков И. В. Кристаллическая структура нового высококальциевого аналога эвдиалита // Докл. РАН. 1999. Т. 368. № 5. С. 636—638.
- Розенберг К. А., Расцветова Р. К., Чуканов Н. В., Верин И. А. Кристаллическая структура ниобийдефицитного карбонатного аналога фекличевита // Докл. РАН. 2005. Т. 400. № 5. В печати.
- Розенберг К. А., Расцветова Р. К., Чуканов Н. В., Верин И. А. Кристаллическая структура карбонатного аналога фекличевита // Кристаллография (в печати).
- Хомяков А. П., Дусматов В. Д., Феррарис Дж., Гула А., Ивальди Г., Нечелюстов Г. Н. Цирсилит-(Ce)(Na, □)₁₂(Ce, Na)₃Ca₆Mn₃Zr₃Nb[Si₂₅O₇₃](OH)₃(CO₃)·H₂O и карбокентбруксит (Na, □)₁₂(Na, Ce)₃Ca₆Mn₃Zr₃Nb[Si₂₅O₇₃](OH)₃(CO₃)·H₂O — новые минералы группы эвдиалита из щелочного массива Дара-и-Пиоз, Таджикистан // ЗВМО. 2003. № 5. С. 40—51.
- Чуканов Н. В., Пеков И. В., Моисеев М. М. Щелочные «пегматиты скрещения» в Ковдорском массиве, Кольский полуостров. Материалы годичной сессии Московского отделения Минералогического общества России, Москва, 4—5 ноября 2003 г. М.: ИГЕМ РАН, 2003. С. 131—132.

Чуканов Н. В., Моисеев М. М., Пеков И. В., Лазебник К. А., Расцветаева Р. К., Заякина Н. В., Феррарис Дж., Ивальди Г. Набалампрофиллит $\text{Ba}(\text{Na}, \text{Ba})\{\text{Na}_3\text{Ti}[\text{Ti}_2\text{O}_2\text{Si}_4\text{O}_{14}](\text{OH}, \text{F})_2\}$ — новый слоистый титаносиликат группы лампрофиллита из щелочно-ультраосновных Инагли и Ковдор, Россия // ЗВМО. 2004 а. № 1. С. 59—72.

Чуканов Н. В., Пеков И. В., Расцветаева Р. К. Кристаллохимия, свойства и синтез микропористых силикатов, содержащих переходные элементы // Усп. хим. 2004 б. Т. 73. № 3. С. 227—246.

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

Johnsen O., Ferraris G., Gault R. A., Grice J. D., Kampf A. R., Pekov I. V. The nomenclature of eudialyte-group minerals // Canad. Miner. 2003. Vol. 41. P. 785—784.

Menil F. Systematic trends of ^{57}Fe Mössbauer isomer shifts in (FeO_n) and (FeF_n) polyhedra. Evidence of a new correlation between the isomer shift and the inductive effect of the competing bond $T-X(-\text{Fe})$ (where X is O or F and T element with a formal positive charge) // J. Phys. Chem. Solids. 1985. Vol. 46. N 7. P. 763—789.

Pol'shin E. V., Platonov A. N., Borutsky B. E., Taran M. N., Rastsvetaeva R. K. Optical and Mössbauer Study of Minerals of the Eudialyte Group // Phys. Chem. Miner. 1991. Vol. 18. P. 117—125.

Поступила в редакцию
14 мая 2005 г.

УДК 549.6

ЗРМО, № 6, 2005 г.
Zapiski RMO, N 6, 2005

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

ГЕОРГБАРСАНОВИТ, $\text{Na}_{12}(\text{Mn}, \text{Sr}, \text{REE})_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3^{2+}\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{76}\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ — МИНЕРАЛЬНЫЙ ВИД ГРУППЫ ЭВДИАЛИТА: РЕАБИЛИТАЦИЯ БАРСАНОВИТА И НОВОЕ НАЗВАНИЕ МИНЕРАЛА¹

А. П. ХОМЯКОВ, Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ, И. А. ЕКИМЕНКОВА, Р. К. РАСТСВЕТАЕВА.

GEORGBARSANOVITE, $\text{Na}_{12}(\text{Mn}, \text{Sr}, \text{REE})_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3^{2+}\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{76}\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ —
A MINERAL SPECIES OF THE EUDIALYTE GROUP: REVALIDATION OF BARSANOVITE
AND THE NEW NAME OF THE MINERAL

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

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

*** Московский университет, 119992, Москва, Воробьевы горы

**** Институт кристаллографии РАН, 117333, Москва, Ленинский проспект, 59

Barsanovite, described in 1963 as a monoclinic dimorph of trigonal eudialyte, was discredited in 1969 because its assignment to the monoclinic system had been proved to be erroneous. Revision study of the barsanovite type specimen carried out with use of the X-ray single crystal analysis has shown that the mineral is the trigonal one and has a distinct combination of cations and anions that are dominant in the key sites of the crystal structure. It means that this mineral deserves to be revalidated as a separate mineral species of the eudialyte group. According to this proposal, the mineral was revalidated in 2003 by the IMA CNMMN with the new name georgbarsanovite given as before after Georg Barsanov (1907—1991), the known Russian mineralogist. Thus, the original term «barsanovite» become a synonym of georgbarsanovite. The mineral is transparent or translucent; color yellow—green; streak white; luster vitreous; Mohs' hardness 5; brittle; fracture uneven to conchoidal; no cleavage observed. $D_{\text{meas}} = 3.05(2)$, $D_{\text{calc}} = 3.11 \text{ g/cm}^3$. Optically uniaxial, negative, $N_o = 1.639(2)$, $N_e = 1.631(2)$; pleochroic: N_o green, N_e pale yellow. Trigonal, space group $R3m$, $a = 14.262(2)$, $c = 29.949(4) \text{ \AA}$, $V = 5276(2) \text{ \AA}^3$. Strongest XRD lines [d , \AA , (hkl)]: 3.202(100)(208), 2.975(98)(315), 2.857(94)(404), 3.155(71)(217), 4.304(62)(205), 6.42(54)(104), 2.591(54)(039), 3.179(52)(306), 3.017(52)(119). Empirical formula at $\Sigma_{\text{cat}} = 53$, $Z = 3$: $(\text{Na}_{11.73}\text{K}_{0.24})_{\Sigma 11.97}(\text{Mn}_{1.19}\text{Sr}_{0.71}\text{REE}_{0.63}\text{Ca}_{0.30}\text{Y}_{0.13}\text{Ba}_{0.03})_{\Sigma 2.99}\text{Ca}_6(\text{Fe}_{2.55}\text{Zr}_{0.23}\text{Ti}_{0.05}\text{Hf}_{0.04})_{\Sigma 2.87}\text{Zr}_3\text{Nb}_{0.92}\text{Si}_{25.25}\text{O}_{76.48}\text{Cl}_{1.11}\text{F}_{0.61} \cdot 0.88\text{H}_2\text{O}$ (microprobe data, H_2O by wet chemistry). Simplified formula: $\text{Na}_{12}(\text{Mn}, \text{Sr}, \text{REE})_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3^{2+}\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{76}\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. IR spectrum is given. Crystal structure is determined, $R = 0.0365$.

¹ Рассмотрено и одобрено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 14 мая 2003 г.