

- Back M. E., Mandarino J. A. Fleischer's Glossary of Mineral Species. 10<sup>th</sup> edition. Tucson, The Mineralogical Record Inc., 2008. 344 p.
- Evans H. T., jr., Allmann R. The crystal structure and crystal chemistry of valleriite // Zeits. Krist. 1968. Vol. 127. P. 73—93.
- Evans H. T., jr., Milton C., Chao E. C. T., Adler I., Mead C., Ingram B., Berner R. A. Valleriite and the new iron sulfide, mackinawite // U. S. Geol. Sur. Prof. Paper. 1964. Vol. 475-D. P. D64—D69.
- Evstigneeva T. L., Genkin A. D., Sandomirskaya S. M., Trubkin N. V. Vyalsovit, a new sulfide-hydroxide of iron, calcium and aluminum // Amer. Miner. 1992. Vol. 77. P. 201—206.
- Harris D. C., Cabri L. J., Stewart J. M. A «valleriite-type» mineral from Norilsk, Western Siberia // Amer. Miner. 1970. Vol. 55. P. 2110—2114.
- Harris D. C., Vaughan D. J. Two fibrous iron sulfides and valleriite from Cyprus with new data on valleriite // Amer. Miner. 1972. Vol. 57. P. 1037—1052.
- Huhma M., Vuorelainen Y., Hakli T. A., Papunen H. Haapalaite, a new nickel-iron sulfide of the valleriite type from East Finland // Bull. Geol. Soc. Finland. 1973. Vol. 45. P. 103—106.
- Jambor J. L. New occurrences of the hybrid sulfide tochilinite // Geol. Surv. Canada. 1976. Paper 76-1B. P. 65—69.
- Kozerenko S. V., Organova N. J., Fadeev V. V., Magazina L. O., Kolpakova N. N., Kopneva L. A. Tochilinite produced in laboratory // Abstracts of the Lunar and Planetary Science Conference. 1996. Vol. 27. Pt 2. P. 695—696.
- Makovicky E. Crystal structures of sulfides and other chalcogenides // Rev. Miner. Geochem. 2006. Vol. 61 (Sulfide Mineralogy and Geochemistry, ed. D. J. Vaughan). P. 7—125.
- Moëlo Y., Rouer O., Cario L., Cervelle B. Re-examination of yushkinite: chemical composition, optical properties and interlayer charge transfer // Miner. Mag. 1999. Vol. 63(6). P. 879—889.
- Pekov I. V., Yapaskurt V. O., Polekhovskiy Yu. S. Ekplexite, (Nb,Mo)S<sub>2</sub> · (Mg<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)(OH)<sub>2+x</sub>, a new valleriite-group mineral from the Khibiny alkaline complex, Kola peninsula, Russia // Miner. Mag., в печати.
- Shannon R. D., Prewitt C. T. Effective ionic radii in oxides and fluorides // Acta Cryst. 1969. C25. P. 925—945.
- Smith D. G. W., Nickel E. H. A system for codification for unnamed minerals: report of the Subcommittee for Unnamed Minerals of the IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification // Canad. Miner. 2007. Vol. 45. P. 983—1055.
- Springer G. Electronprobe analyses of mackinawite and valleriite // N. Jb. Miner. Mh. 1968. S. 252—258.
- Sugaki A., Shima H., Kitakaze A., Mizota T. Hydrothermal synthesis of nukundamite and its crystal structure // Amer. Miner. 1981. Vol. 66. P. 398—402.

Поступила в редакцию  
14 июня 2012 г.

УДК 549.5 (470.54)

ЗРМО, № 6, 2012 г.  
Zapiski RMO, N 6, 2012

© Л. А. ПАУТОВ, \* д. чл. М. П. ПОПОВ, \*\* д. чл. Ю. В. ЕРОХИН, \*\*  
д. чл. В. В. ХИЛЛЕР, \*\* В. Ю. КАРПЕНКО\*

## МАРИИНСКИТ $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ, ХРОМОВЫЙ АНАЛОГ ХРИЗОБЕРИЛЛА<sup>1</sup>

\* Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН, Москва, Ленинский пр., 18, корп. 2;

\*\* Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620075, Екатеринбург, Почтовый пер., 7  
e-mail: pla58@mail.ru

Новый минерал мариинскит  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  — хромовый аналог хризоберилла, найден на Мариинском (Мальшевском) м-нии (Ср. Урал, Россия). Назван по месту находки. Встречен в образце хромитита с фторфлогопитом, Cr-содержащим мусковитом, эсколаитом, турмалином. Эмпирическая формула, рассчитанная на O = 4 ат.:  $\text{Fe}_{1.03}(\text{Cr}_{1.22}\text{Al}_{0.74}\text{Ti}_{0.01}\text{Fe}_{0.01}\text{V}_{0.01})_{1.99}\text{O}_4$ . Индекс схожимости свойств  $1 - (K_p/K_c) = 0.019$ . Образцы с мариинскитом хранятся в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана РАН (г. Москва) и Уральском геологическом музее (г. Екатеринбург).

Ключевые слова: мариинскит, новый минерал, хризоберилл, Уральские Изумрудные копи.

<sup>1</sup> Рассмотрено КНМ ВМО. Утверждено КНМНК ММА 1 сентября 2011 года, IMA № 2011-057.

A new mineral, mariinskite,  $\text{BeCr}_2\text{O}_4$ , the chromium analogue of chrysoberyl, has been found at the Mariinskoye (Malyshevo) deposit (the Ural Emerald Mines, Middle Urals, Russia). The mineral is named after its type locality. It was discovered in chromitite in association with fluoro-phlogopite, Cr-bearing muscovite, escolaita, tourmaline. Mariinskite occurs as anhedral grains from 0.01 to 0.3 mm in size, in some cases they form pseudohexagonal chrysoberyl-type twins. Its color is dark-green, with a pale green streak; Mohs' hardness is  $8\frac{1}{2}$ , microhardness  $\text{VHN} = 1725 \text{ kg/mm}^2$ .  $D_{\text{meas}} = 4.25(2) \text{ g/cm}^3$ ,  $D_{\text{calc}} = 4.25 \text{ g/cm}^3$ . In transmitted light, it is emerald-green, pleochroic emerald-green ( $N_g$ ) to yellow-green ( $N_m$ ) and greenish-yellow ( $N_p$ ); biaxial (+) with  $n_g = 2.15(1)$ ;  $n_m = 2.09(3)$ ;  $n_p = 2.05(1)$ ;  $2V_{\text{meas}} = 80^\circ \pm 10^\circ$ ,  $2V_{\text{calc}} = 80.5^\circ$ . In reflected light, it is grey with green reflections;  $R_{\text{max}}(589) = 12.9\%$ ;  $R_{\text{min}}(589) = 12.3\%$ , and there are strong internal green reflections. The strongest absorption bands in the IR spectrum are as follows ( $\text{cm}^{-1}$ ): 935, 700, 614, 534. Space group  $Pnma$ ,  $a = 9.727(3)$ ,  $b = 5.619(1)$ ,  $c = 4.499(1) \text{ \AA}$ ,  $V = 245.9(3) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ . The strongest lines in the X-ray powder-diffraction pattern are as follows ( $d$ ,  $\text{Å}$ ;  $I$ ;  $hkl$ ): 4.135(60)(101), 3.337(100)(111), 2.653(50)(301), 2.452(50)(220), 2.402(40)(311), 2.157(40)(401), 1.668(95)(222). The mean composition of mariinskite (electron microprobe, wt %):  $\text{BeO} 16.3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 23.89$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 58.67$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 0.26$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5 0.26$ ,  $\text{TiO}_2 0.61$ , total 99.98. The empirical formula, calculated on the basis of 4 O *apfu*, is  $\text{Be}_{1.03}(\text{Cr}_{1.22}\text{Al}_{0.74}\text{Ti}_{0.01}\text{Fe}_{0.01}\text{V}_{0.01})_{1.99}\text{O}_4$ . The compatibility index  $1 - (K_p/K_c)$  is 0.019, excellent. The specimens are deposited in the Fersman Mineralogical Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, and the Ural Geological Museum, Ekaterinburg, Russia.

**Key words:** mariinskite, new mineral, chrysoberyl, Ural Emerald Mines.

## ВВЕДЕНИЕ

Новый минерал<sup>1</sup> с идеализированной формулой  $\text{BeCr}_2\text{O}_4$  был обнаружен при изучении образца хромитита из Мариинского (Малышевского) месторождения Уральских Изумрудных копей (рис. 1). Минерал назван мариинскитом (mariinskite) по месту находки.

Мариинскит  $\text{BeCr}_2\text{O}_4$  является хромовым аналогом хризоберилла  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ , структура которого хорошо изучена и неоднократно уточнялась (Bragg, Brown, 1926; Farrell et al., 1963; Дудка и др., 1985, и др.). Хризоберилл кристаллизуется в структурном типе оливина, характеризующимся слегка искаженной гексагональной упаковкой из атомов кислорода, в которой половина октаэдрических пустот двух типов  $M1$  и  $M2$ , отличающихся симметрией, заселена Al, а  $\frac{1}{2}$  тетраэдрических позиций — атомами Be. Во второй половине XIX века Ж.-Й. Эбельменом синтезирована кристаллическая фаза состава  $\text{BeCr}_2\text{O}_4$  и высказано предположение о наличии изоморфизма в ряду  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ — $\text{BeCr}_2\text{O}_4$  (Mallard, 1888). К. Е. Вайр и А. Ван Валькенбург порошковым методом подтвердили полную изоструктурность синтетических представителей твердых растворов этого ряда и для конечного члена  $\text{BeCr}_2\text{O}_4$  определили параметры ромбической ячейки:  $a = 9.792$ ,  $b = 5.663$ ,  $c = 4.555 \text{ \AA}$  (Weir, Valkenburg, 1960). К настоящему времени синтезированы и с различной степенью детальности изучены фазы этой системы в широком диапазоне составов (Newnham et al., 1964; Santoro, Newnham, 1964; Bukin et al., 1981; Рабаданов, Дудка, 1998; Scalvi et al., 2005; Винник и др., 2008; Trindade et al., 2010; Громалова, 2010; Урусов и др., 2011; и др.). В ряде работ показано, что  $\text{Cr}^{3+}$  при замещении  $\text{Al}^{3+}$  в структуре хризоберилла охотнее заселяет более крупную искаженную октаэдрическую позицию  $M2$ , по сравнению с более мелким и более правильным октаэдром  $M1$  таким образом, что соотношение  $\text{Cr}^{3+}$  в позициях  $M1:M2 \sim 1:2$ — $1:3$  (Рабаданов, Дудка, 1998; Rager et al., 1998; Урусов и др., 2011). Однако в природном хромсодержащем хризоберилле не всегда наблюдается такое распределение хрома по октаэдрическим позициям: иногда именно позиция  $M1$  оказывается более предпочтительной для вхождения этого элемента (Урусов и др., 2011). В последние годы большие усилия направлены на работы по атомистическому моделированию структур в системе  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ — $\text{BeCr}_2\text{O}_4$ , позволившие существенно приблизиться к теоретическому расчету многих физических свойств соединений в этой системе (Еремин, 2009; Громалова и др., 2011).



Рис. 1. Географическое местонахождение Мариинского месторождения

1 — гранитоиды лейко- и мезокристаллического типа Лесозаводского массива; 4 — офиолитовый комплекс; 5 — оталькованные апогипсы; 7 — оталькованные апогипсы вулканогенно-осадочная толща (полагаемые); 11 — изумрудные копи (приведены первоначальные названия). 1 — Мариинское (Малышевское), 5 —

Fig. 1. Geographic location of the Mariinskoye (Malyshevo) deposit

В природном хризоберилле хром часто встречается в виде хризоберилла, который в дневном освещении дает желтый цвет. В Изумрудных коях в 30-х годах XX века кристаллы хризоберилла связаны с именами Н. Норденшельда и Александра II (Von Rosenberg). В ряде работ (Фердинанд, 1842; Первые анализы хризоберилла — Шубинным и П. И. Шубинным, 1842; Авдеев, 1842; и с более поздними анализами Schmetzer, 2010). Соединения, связанные с ультраабита

KARPENKO, MARIINSKITE,  
OF CHRYSOBERYL

chrysoberyl, has been found at the (Ural) Mountains, Russia). The mineral is named after the discoverer, I. V. Karpenko. It is a Cr-bearing silicate with fluoro-phlogopite, Cr-bearing phlogopite, and is from 0.01 to 0.3 mm in size, in color is dark-green, with a pale green tinge.  $D_{\text{meas}} = 4.25(2) \text{ g/cm}^3$ ,  $n_{\text{merald-green}}(Ng) = 2.09(3)$ ,  $n_{\text{yellow-green}}(Np) = 2.05(1)$ ;  $2V_{\text{merald-green}} = 12.9^\circ$ ;  $R_{\text{max}}(589) = 12.9\%$ ; strongest absorption bands in the visible region,  $a = 9.727(3)$ ,  $b = 5.619(1)$ ,  $c = 2.452(50)(220)$ ,  $2.402(40)(311)$ ,  $2.382(40)(311)$  (electron microprobe, wt %): total 99.98. The empirical formula is  $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 1.99\text{O}_4$ . The compatibility in the system  $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  (see also Karpenko, 2011). The compatibility in the system  $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  (see also Karpenko, 2011).

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  был обнаружен при изучении месторождения Уральских Изумрудных Копей (mariinskite) по мес-

тологии хризоберилла  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ , структура которого описана (Bragg, Brown, 1926; Farrell, 1960). Хризоберилл кристаллизуется в структурном типе с гексагональной упаковкой из атомов кислорода двух типов  $M1$  и  $M2$ , в которых позиции — атомами Be. В хризоберилле кристаллическая решетка характеризуется наличием изоморфизма в ряду хризоберилл-хромоберилл. В Березовском месторождении порошковыми методами исследованы представители твердых растворов. Они определили параметры ромбоэдрической структуры (Karpalkenburger, 1960). К настоящему времени детально изучены фазы хризоберилла (Karpalkenburger, 1964; Santoro, Newnham, 1964; Karpenko, 2005; Винник и др., 2008; и др.). В ряде работ показана тенденция к охотнее заселяет более высокие позиции  $\text{Cr}^{3+}$  в позициях  $M1$  (Karpalkenburger, 1998; Урусов и др., 2011). В хризоберилле всегда наблюдается такое соотношение  $M1$  и  $M2$  октаэдров, как и в октаэдрическом элементарном элементе (Урусов и др., 2011). В хризоберилле по атомистическому моделированию существенно присущие свойства соединений в этой



Рис. 1. Географическое местоположение Уральских Изумрудных Копей (★) и геологическая карта района Мариинского месторождения (с использованием материалов Ф. Ф. Золотухина и В. И. Скобелкина) (б).

1 — гранитоиды лейко- и мезократовые Адуйского массива; 2 — лейкограниты Малышевского массива; 3 — диориты Лесозаводского массива; 4 — гранито-гнейсовое обрамление Адуйского массива; 5 — габбро-нориты баженовского офиолитового комплекса; 6 — гардбургиты, вебстериты, серпентиниты баженовского офиолитового комплекса; 7 — оталькованные адогипербазитовые метасоматиты с приуроченными к ним слюдитовыми комплексами; 8 — вулканогенно-осадочная толща; 9—10 — зоны разломов и тектонического меланжа (9 — установленные, 10 — предполагаемые); 11 — изумрудно-берилловые месторождения и проявления. Цифрами отмечены наиболее крупные (приведены первоначальные названия, в скобках — названия, присвоенные в результате переименования 1927 г.): 1 — Мариинское (Малышевское), 2 — Троицкое (Первомайское), 3 — Сретенское (Свердловское), 4 — Черемшанское, 5 — Хитный принск (Красноармейское); 12 — населенные пункты.

Fig. 1. Geographic location of the Urals Emerald Mines (a) and geological map of the Mariinsky deposit area (b), with used F. F. Zolotukhin & V. I. Skobelkin's materials.

В природном хризоберилле из месторождений, связанных с ультраосновными породами, хром часто выступает в роли изоморфной примеси (рис. 2). Впервые хромосодержащий хризоберилл с эффектом изменения окраски от изумрудно-зеленой при дневном освещении до винно-красной при искусственном был встречен на Уральских Изумрудных коях в 30-е годы XIX века. Первые упоминания об уральском хризоберилле связаны с именами Я. В. Каковина и Л. А. Перовского (Von Pott, 1842), наиболее раннее минералогическое описание принадлежит Г. Розе (Rose, 1839). По предположению Н. Норденшельда эта драгоценная разновидность хризоберилла была названа александритом в честь наследника российского престола, будущего императора Александра II (Von Pott, 1842). История открытия и исследований александрита описана в ряде работ (Ферман, 1920; Авдонин, Поленов, 2004; Schmetzer, 2010, и др.). Первые анализы хризоберилла из Изумрудных копей были выполнены И. В. Авдеевым и П. И. Шубиным, которые установили в нем 0.36 и 0.93 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  соответственно (Авдеев, 1842; Шубин, 1843). Эти данные находятся в хорошем соответствии с более поздними анализами уральского александрита (Власов, Кутукова, 1960; Schmetzer, 2010). Содержания хрома в александрите из других месторождений, связанных с ультрабазитами, лежат в диапазоне от 0.0n до 1 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (Gübelin, 1976;

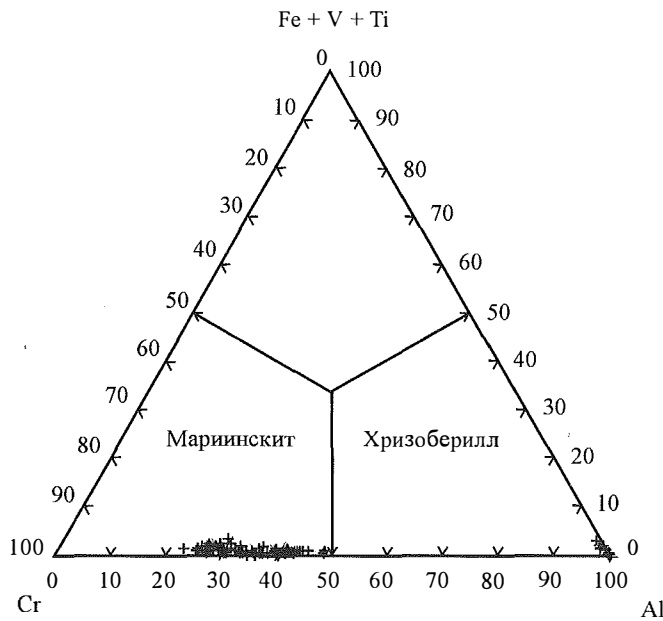


Рис. 2. Составы минералов ряда мариинскит—хризоберилл на тройной диаграмме конечных членов  $\text{BeAl}_2\text{O}_4(\text{Al})$ — $\text{BeCr}_2\text{O}_4(\text{Cr})$  и  $\text{Be}(\text{Fe}, \text{V}, \text{Ti})_2\text{O}_4$  ( $\text{Fe} + \text{V} + \text{Ti}$ ) (моль. %).

Составы мариинскита — наши данные, составы хризоберилла — литературные данные: Изумрудные копи, Урал (Авдеев, 1842; Шубин, 1843; Власов, Кутукова, 1960); Lake Manuaga, Танзания (Gübelin, 1976); шт. Керала, Индия (Soman, Nair, 1985); Dowerin, Австралия (Downes, Bevan, 2002); Franqueria, Испания (Franz et al., 1996); Belvis de Mongou, Испания (Merino et al., 2010); шт. Минас Жерайс, Бразилия (Trindade et al., 2010) (для хризоберилла даны составы только хромсодержащих разновидностей).

Fig. 2. Composition of the mariinskite-chrysoberyl series minerals on the triple diagram of end-members  $\text{BeAl}_2\text{O}_4(\text{Al})$ — $\text{BeCr}_2\text{O}_4(\text{Cr})$  and  $\text{Be}(\text{Fe}, \text{V}, \text{Ti})_2\text{O}_4$  ( $\text{Fe} + \text{V} + \text{Ti}$ ), mol. %. Mariinskite composition — author's data, chrysoberyl composition — from published data.

Franz et al., 1996; Basilio et al., 2000; Downes, Bevan, 2002; Trindade et al., 2010; Schmetzer et al., 2011). Наиболее высокое содержание хрома (1.36 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), которое нам удалось найти в литературе, приведено для хризоберилла из Dowerin, Австралия (Downes, Bevan, 2002). Хризоберилл из проявлений, не имеющих тесной связи с ультраосновными породами [например, из пегматитов шт. Керала в Индии (Soman, Nair, 1985; Geology..., 2005), Golden в Колорадо, США (Waldschmidt, Gaines, 1939), Belvis de Mongou в Испании (Merino et al., 2010)], как правило, беднее хромом ( $< 0.1$  мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Таким образом, содержание хрома в природном хризоберилле на один—полтора порядка меньше, чем в мариинските (рис. 2).

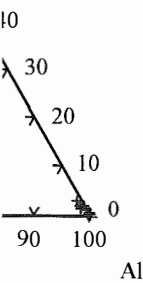
#### МЕСТО НАХОДКИ И МИНЕРАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ

Район Уральских Изумрудных копей расположен на восточном склоне Среднего Урала в окрестностях г. Асбеста примерно в 60 км северо-восточнее г. Екатеринбурга и представляет собой группу изумрудно-берилловых месторождений, протягивающуюся в меридиональном направлении на 25 км (рис. 1). История открытия и освоения Изумрудных копей началась в 1830 г. с находки М. С. Кожевниковым на берегу р. Токковой кристаллов изумруда. Уже в 1831 г. на месте находки по приказу Я. В. Каковина были начаты горные работы, и вскоре на этом месте возник Сретенский прииск. В 1832 г. в 4 км к северу от него был заложен второй прииск, Троицкий, а на следующий год в 8.5 км севернее Сретенского открыто Мариинское месторождение. Архивные материалы по Изумрудным копиям приведены А. Е. Ферсманом (1923), история

освоения месторождения 1920; Власов, Кутуков, 2008, и др.). В 1927 г. (рис. 1). В геолого-петрографическом отношении массив подразделяется на восточную и центральную части, разделенные метаморфизованными ультрабазитами, прорванными гранитами. Все месторождения и проявления находятся в центральной блоке и имеют физическую толщину позднекаменноугольного возраста оценивается по-разному, в среднем  $256 \pm 0.6$  млн лет по мнению Смирнова и др. (2006). В кварц-плагиоклазовых породах, размещенных по зонам разломов и зон диадак диоритовых порфидов (2004; Бидный, 2012).

Мариинское месторождение — крупнейшим объектом изучения части клина метаморфизованных массивов. Изумрудно-берилловый тинитовый меланж. Зоны тальковых сланцев более благоприятны для нахождения. Встречаются линзы хризоберилла, мариинскит обнаружен в окрестностях Мариинского месторождения. В Изумрудных копиях мы нашли у А. Е. Ферсмана его в образцах актинобласта и другими исследованиями (2004).

Изученный образец имеет окраску от коричневого до желтого цвета. Минералы сложены из хризоберилла, флогопит, Ст-содержащего колораита, минералы группы берилловидных (двумя разновидностями) (моль. %:  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  — 54,  $\text{FeV}_2\text{O}_4$  — 1), образующие крупные остроконечные гранки, и низкоглиноземистые (моль. %:  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  — 7,  $\text{MnAl}_2\text{O}_4$  — 2). Включены выделены в виде тонких чешуек хромит-(I) более темного цвета, хромит-(II). Макрокристаллы хромитов в прозрачном шлифе принимают полировку фиолетово-красным цветом, плохо принимают полировку. Изометричными кристаллами просвечивает, но при увеличении просвечивает внутренними включениями хромитовыми с наличием в хромите-(I) пустот в форме полостей в форме



ой диаграмме конечных членов  
+ Ti) (моль. %).

данные: Изумрудные копи, Урал (Ав-  
(Gübelin, 1976); шт. Керала, Индия  
Испания (Franz et al., 1996); Belvis  
et al., 2010) (для хризоберилла даны  
ей).

е triple diagram of end-members  
ariinskite composition — author's  
d data.

grindade et al., 2010; Schmet-  
мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), которое нам  
з Dowerin, Австралия (До-  
их тесной связи с ультраос-  
Индии (Soman, Nair, 1985;  
d, Gaines, 1939), Belvis de  
нее хромом (< 0.1 мас. %  
изоберилле на один—пол-

## ОЦИАЦИЯ

восточном склоне Среднего  
восточнее г. Екатеринбурга  
орождений, протягивающу-  
ррия открытия и освоения  
вниковым на берегу р. То-  
по приказу Я. В. Какови-  
озник Сретенский прииск.  
к, Троицкий, а на следую-  
е месторождение. Архив-  
ерсманом (1923), история

освоения месторождений отражена в большом числе публикаций (Ферсман, 1913, 1920; Власов, Кутукова, 1960; Золотухин, 1996; Авдонин, Поленов, 2004; Попов и др., 2008, и др.). В 1927 г. прииски Уральских Изумрудных копей были переименованы (рис. 1). В геолого-петрографическом аспекте территория изумрудных месторождений подразделяется на три зоны: западную, представленную Адуйским гранитным массивом, восточную — Баженовским офиолитовым комплексом и центральную — метаморфизованными эффузивно-осадочными толщами и продуктами метаморфизма ультрабазитов, прорванными дайками диоритовых порфиритов (Золотухин, 1999). Все месторождения и рудопоявления берилла, в том числе изумруда, находятся в центральном блоке и тяготеют к контакту Адуйского гранитного плутона с метаморфической толщей позднепалеозойского возраста. Время образования Адуйского массива оценивается по-разному:  $291 \pm 8$  млн лет по циркону (Краснобаев и др., 2006),  $256 \pm 0.6$  млн лет по монациту (Ферштатер и др., 2003), 241—255 млн лет по слодам (Смирнов и др., 2006). Бериллиевая минерализация локализована преимущественно в кварц-плаггиоклазовых жилах субширотного простирания и во флогопитовых слюдитах, размещение которых в значительной степени контролируется субмеридиональными разломами и зонами расщепления пород, а также экранирующим влиянием даек диоритовых порфиритов (Власов, Кутукова, 1960; Золотухин, 1996; Куприянова, 2004; Бидный, 2012).

Маринское месторождение, в котором был обнаружен маринскит, является самым крупным объектом Уральских Изумрудных копей. Оно расположено в северной части клина метаморфических пород между Адуйским и Малышевским гранитными массивами. Изумрудносные флогопитовые слюдиты развиты по породам серпентинитового меланжа. Наиболее богатые рудные тела локализованы среди мощных зон тальковых сланцев (Куприянова, 2004). Собственно серпентинитовые блоки менее благоприятны для нахождения изумрудной минерализации, но именно в них встречаются линзы хромитов, в одной из которых и найден новый минерал. Маринскит обнаружен в образце хромитита, который передал авторам для изучения Валерий Михайлович Выдрин. Образец происходит с горизонта +60 м шахты Южной Маринского месторождения. Наиболее раннее упоминание о хромите из Изумрудных копей мы нашли у А. Е. Ферсмана (Fersman, 1926), который отмечает мелкие зерна его в образцах актинолита с Троицкого прииска. Хромит с Изумрудных копей описан и другими исследователями (Вертушков, 1937; Власов, Кутукова, 1960; Жернаков, 2004).

Изученный образец хромитита представляет собой мелко-среднезернистую породу коричневого цвета, пронизанную многочисленными разноориентированными прожилками, сложенными агрегатом зеленых слюд. Главные минералы: хромит, фторфлогопит, Cr-содержащий мусковит; второстепенный: маринскит; акцессорные: эсколаит, минералы группы турмалина, фторапатит, циркон. Хромит представлен двумя разновидностями: высокоглиноземистым хромитом-(I) (минальный состав, мол. %:  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  — 54,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  — 23,  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  — 18,  $\text{MnAl}_2\text{O}_4$  — 3,  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$  — 1,  $\text{FeV}_2\text{O}_4$  — 1), образующим разрозненные зерна без признаков кристаллографической огранки, и низкоглиноземистым хромитом-(II) (мол. %:  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  — 63,  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  — 24,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  — 7,  $\text{MnAl}_2\text{O}_4$  — 3,  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$  — 1,  $\text{FeV}_2\text{O}_4$  — 1), образующим матрицу, в которую заключены выделения хромита-(I). По ряду морфологических признаков мы считаем хромит-(I) более ранним минералом, который вдоль сети трещин был замещен хромитом-(II). Макроскопически хромит-(I) имеет темно-бурый, почти черный цвет, в прозрачном шлифе просвечивает густым красно-коричневым цветом, хорошо принимает полировку. Хромит-(II) характеризуется светлым сургучно-коричневым цветом, плохо принимает полировку — поверхность его оказывается испещрена мелкими изометричными дефектами. В прозрачном шлифе хромит-(II) практически не просвечивает, но при этом обладает в отраженном свете очень сильными светло-коричневыми внутренними рефлексиями. Такое несоответствие свойств объясняется наличием в хромите-(II) многочисленных относительно равномерно рассеянных мелких полостей в форме отрицательных кристаллов (октаэдров?), трактующихся нами как



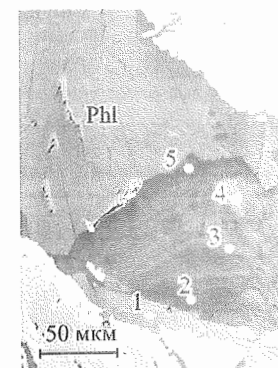
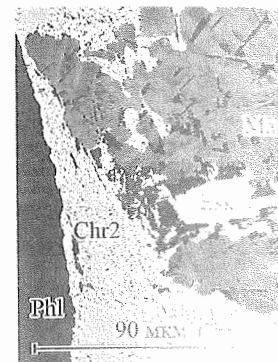
Рис. 3. Зерно маринскита в агрегате хромита-(I), хромита-(II) и фторфлогопита.

*а* — прозрачно-полированный шлиф в отраженном свете при одном никеле; хромит-(I) — 1, хромит-(II) — 2, маринскит — 3, фторфлогопит — черное; *б* — тот же участок шлифа в отраженном свете при скрещенных николях: хорошо видно, что хромит-(II) образует каймы вокруг хромита-(I) и его нахождение контролируется трещинами; *в* — шлиф в проходящем свете: видно, что хромит-(I) прозрачен в отличие от хромита-(II) (ширина поля зрения 330 мкм); *г* — скол зерна хромита-(II): видны многочисленные пустоты в форме отрицательных кристаллов. Сканирующий электронный микроскоп JSM T-100 JEOL, изображение во вторичных электронах.

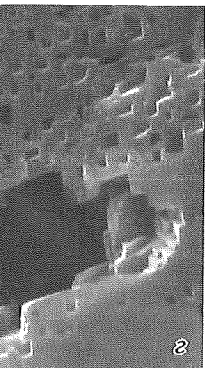
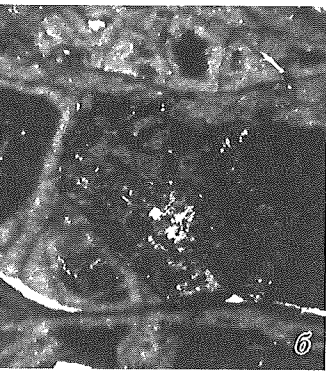
Fig. 3. Mariinskite grain (3) in the aggregate of chromite-I (1), chromite-II (2) and fluoro-phlogopite.

пустотки растворения (рис. 3). Процессы преобразования высокоглиноземистых шпинелидов в низкоглиноземистые (с одновременным увеличением содержаний хрома и уменьшением содержаний магния) описаны для многих уральских массивов гипербазитов (Спиридонов и др., 1997). По диаграмме составов хромшпинелидов Al—Cr—Fe<sup>3+</sup> более ранний хромит-(I) попадает в поле хромитов альпинотипных дунитов (Плаксенко, 1989); в соответствии со схемой типизации хромитовых руд его можно отнести к хромитам, связанным с комплексами дунит-гарцбургитов и краевых дунитов (Сахнов, 2008).

Прожилки в хромите сложены светло-серым с зеленоватым оттенком фторфлогопитом ( $n_m \sim n_g = 1.569 \pm 0.002$ ) (минальный состав, мол. %: фторфлогопит  $KMg_3AlSi_3O_{10}F_2$  — 43, флогопит  $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$  — 18, полилитионит  $KLi_2 \cdot AlSi_4O_{10}F_2$  — 14, истонит  $KMg_2AlAl_2Si_2O_{10}(OH)$  — 8, аспидолит  $NaMg_3 \cdot AlSi_3O_{10}(OH)_2$  — 7, хромфиллит  $KCr_2 \square AlSi_3O_{10}(OH)_2$  — 6, волошинит  $RbLi_{1.5}Al_{0.5} \cdot Si_{3.5}O_{10}F_2$  — 4) и бирюзово-зеленым хромовым мусковитом ( $n_m \sim n_g = 1.601 \pm 0.002$ ) [минальный состав, мол. %: мусковит  $KAl_2 \square AlSi_3O_{10}(OH)_2$  — 44, хромфиллит  $KCr_2 \square AlSi_3O_{10}(OH)_2$  — 16, парагонит  $NaAl_2 \square AlSi_3O_{10}(OH)_2$  — 10, фторфлогопит  $KMg_3AlSi_3O_{10}F_2$  — 10, полилитионит  $KLi_2AlSi_4O_{10}F_2$  — 10, алюминоселадонит  $KAlMg \square Si_4O_{10}(OH)_2$  — 6, флогопит  $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$  — 3]. Количественные соотношения слюд сильно варьируют: в одних участках резко преобладает фторфлогопит, в других, особенно в маломощных прожилках, — хромовый мусковит. Мусковит,



*а* — общий вид хромита с наличием обломков фторфлогопита (темно-серые точки). Небольшие участки фторфлогопита видны в режиме BSE; соответствуют номерам 1, 2, 3, 4, 5 (Chr) и фторфлогопит (Phl) в центре снимка.



ит- (II) и фторфлогопита.

омит-(I) — 1, хромит-(II) — 2, марин-  
зете при скрещенных николях; хорошо  
нтролируется трещинами; *в* — шлиф в  
) (ширина поля зрения 330 мкм); *г* —  
ных кристаллов. Сканирующий элек-  
тронных электронов.

ite-II (2) and fluoro-phlogopite.

ния высокоглиноземистых  
еличением содержаний хро-  
гих уральских массивов гиг-  
составов хромшпинелидов  
омитов альпинотипных ду-  
зации хромитовых руд его  
ит-гарцбургитов и краевых

еноватым оттенком фтор-  
ав, мол. %: фторфлогопит  
— 18, полилитийнит  $KLi_2 \cdot$   
— 8, аспидолит  $NaMg_3 \cdot$   
— 6, волошинит  $RbLi_{1.5}Al_{0.5} \cdot$   
ом ( $n_m \sim n_g = 1.601 \pm 0.002$ )  
 $(OH)_2$  — 44, хромфиллит  
 $(OH)_2$  — 10, фторфлогопит  
— 10, алюминоселадонит  
— 3]. Количественные соот-  
преобладает фторфлогопит,  
овый мусковит. Мусковит,

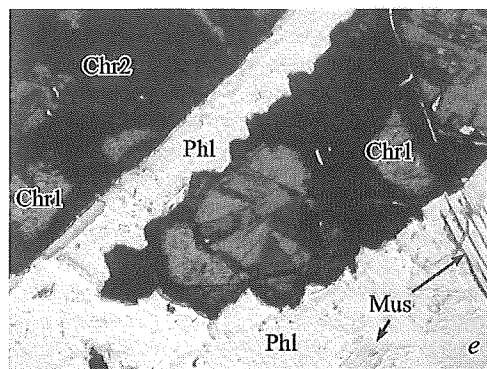
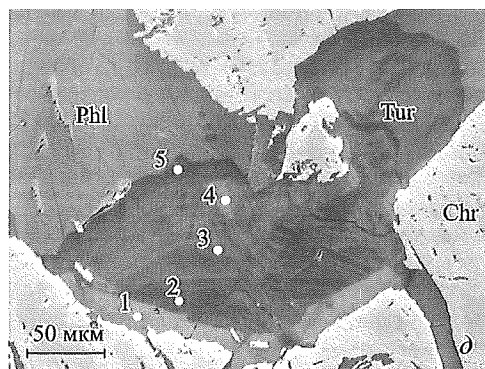
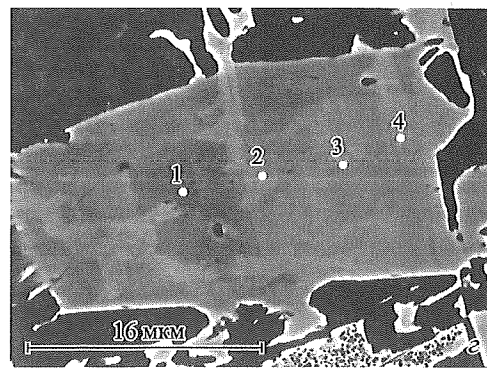
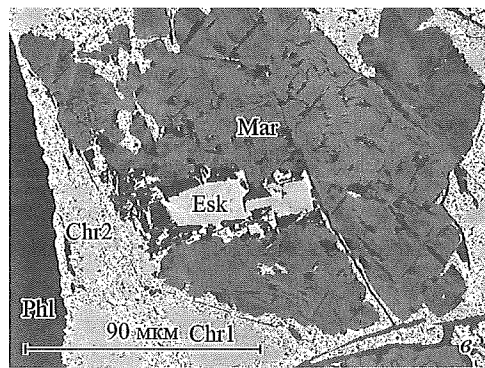
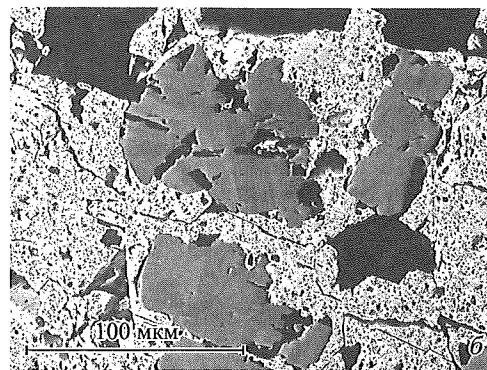
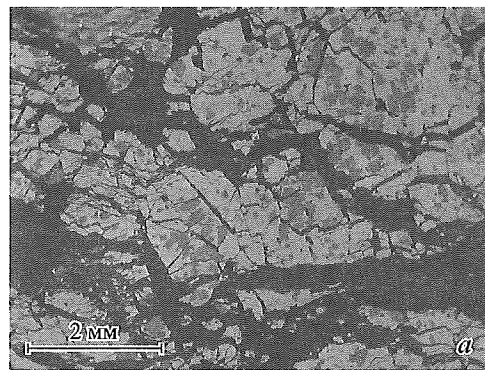


Рис. 4. Минералы из ассоциации с маринскитом.

*a* — общий вид хромитита с маринскитом в режиме BSE. Хорошо видна микробрскчиевая текстура, обусловленная наличием обломков агрегатов хромита (светло-серое) с маринскитом (серое), сцементированных слюдистым агрегатом (темно-серое); *б* — зерна маринскита (серое) с вростками фторфлогопита (черное) в хромите-(II) (серое с темными точками). Изображение в режиме BSE; *в* — зерно эсколаита (Esk) в маринските (Mar) с многочисленными вростками фторфлогопита (черное) в агрегате хромита-(I) (Chr1) с хромитом-(II) (Chr2); Phl — фторфлогопит. Изображение в режиме BSE; *г* — зерно эсколаита со сложной зональностью (фрагмент изображения — *в*). Номера точек соответствуют номерам анализов в табл. 1; *д* — зональный кристалл турмалина (Tur) среди агрегата зерен хромита (Chr) и фторфлогопита (Phl) (номера точек соответствуют номерам анализов в табл. 2). Изображение в режиме BSE; *е* — в центре снимка — тройник маринскита хризобериллового типа в хромите-(II) (Chr2) с реликтами хромита-(I) (Chr1). Phl — фторфлогопит, Mus — мусковит. Прозрачный шлиф при одном николе. Ширина поля зрения 320 мкм.

Fig. 4. Minerals in association with mariinskite.

Химический состав (мас. %) эсколаита (1—4), хромита-(I) (5) и хромита-(II) (6) из ассоциации с мариинскитом  
 Chemical composition (wt %) of escolait (1—4), chromite-(I) (5) and chromite-(II) (6) in their association with mariinskite

Компонент	Эсколаит				Хромит	
	1	2	3	4	5	6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.51	5.21	6.15	5.52	13.98	5.12
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	82.54	93.03	91.89	93.12	55.65	64.68
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37	0.48	0.27	0.32	0.25	0.19
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.21	0.23	0.00	0.12	20.06	22.42
MnO	0.24	0.31	0.00	0.54	0.96	0.94
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	8.34	6.09
ZnO	0.25	0.27	0.26	0.26	0.26	0.31
Сумма	100.26	99.52	99.87	99.87	99.50	99.76

Примечание. «0.00» в анализах таблицы и далее означает, что содержания компонента ниже предела обнаружения. 1—4 — номера анализов соответствуют номерам точек анализов на рис. 4, г; формулы (расчет на O = 3): 1 — (Cr<sub>1.52</sub>Al<sub>0.45</sub>V<sub>0.01</sub>)<sub>2.00</sub>O<sub>3</sub>; 2 — (Cr<sub>1.83</sub>Al<sub>0.15</sub>V<sub>0.01</sub>Mn<sub>0.01</sub><sup>+2</sup>)<sub>2.01</sub>O<sub>3</sub>; 3 — (Cr<sub>1.81</sub>Al<sub>0.18</sub>V<sub>0.01</sub>)<sub>2.00</sub>O<sub>3</sub>; 4 — (Cr<sub>1.82</sub>Al<sub>0.16</sub>V<sub>0.01</sub>Mn<sub>0.01</sub><sup>+2</sup>)<sub>2.01</sub>O<sub>3</sub>; 5 — хромит первой разновидности (среднее по 11 ан.), (Fe<sub>0.55</sub>Mg<sub>0.41</sub>Mn<sub>0.03</sub><sup>+2</sup>Zn<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub> · (Cr<sub>1.45</sub>Al<sub>0.54</sub>V<sub>0.01</sub>)<sub>2.00</sub>O<sub>4</sub> (расчет на O = 4); 6 — хромит второй разновидности (среднее по 3 ан.), (Fe<sub>0.65</sub>Mg<sub>0.32</sub> · Mn<sub>0.03</sub><sup>+2</sup>Zn<sub>0.01</sub>)<sub>1.01</sub>(Cr<sub>1.78</sub>Al<sub>0.21</sub>V<sub>0.01</sub>)<sub>2.00</sub>O<sub>4</sub> (расчет на O = 4). Анализы выполнены с помощью энергодисперсионного спектрометра (INCA), установленного на электронном зондовом микроанализаторе JСХА-733, 20 кВ, 2 нА; аналитик Л. А. Паутов.

как правило, образует таблитчатые зерна и их сростки, чаще приуроченные к зальбандам прожилков; реже его пластинки заключены в более мелкозернистый агрегат фторфлогопита в осевой части прожилков. Для слюд Изумрудных копей характерно обогащение редкими щелочами, особенно литием (Власов, Кутукова, 1960; Жернаков, 1976; Бидный, 2012). По нашим единичным анализам слюд, из описываемой ассоциации фторфлогопит более обогащен литием по сравнению с мусковитом.

Турмалин представлен столбчатыми и игольчатыми индивидами темно-зеленого цвета и их сноповидными сростками до 2—3 см длиной. Обычно он приурочен к краевой части обособлений хромититов. Индивиды турмалина обнаруживают зональность, наблюдаемую при микроскопических и электронно-зондовых исследованиях (рис. 4, д). Отдельные зоны, согласно современной номенклатуре группы турмалина (Clark et al., 2011; Henry et al., 2011), соответствуют дравиту, фтордравиту и хром-алюминий-магнезиальному турмалину. Эсколаит образует зерна с извилистыми границами и таблитчатые кристаллы гексагонального облика размерами до 200 мкм в поперечнике. Для них характерна хорошо видимая в режиме BSE ростовая зональность и секториальность. Ядра кристаллов, как правило, обогащены алюминием, а к периферии его содержание убывает (рис. 4, г; табл. 1).

Мариинскит представлен мелкими зернами (менее 1 мм), как правило, без признаков кристаллографической огранки (рис. 4, а, в). Реже отмечаются зерна, в ограничении которых присутствуют прямолинейные границы, но хорошо образованных кристаллов не встречено. Некоторые зерна представляют собой псевдогексагональные сростки тройников хризобериллового типа (рис. 4, б, е; 8, а). Индивиды мариинскита характеризуются весьма сложной анатомией, хорошо видимой в прозрачных шлифах и при наблюдении в режиме BSE; наблюдаются ростовая зональность и секториальность, пятнистость, полосчатость, выражающиеся в изменчивости в некоторых пределах состава минерала от одного микроучастка к другому (рис. 8, 9; табл. 3). Весьма обычны блочность зерен и наличие двойников прорастания, что в плоских сечениях препаратов часто создает сложно интерпретируемую картину.

Цвет мариинскита очерно-зеленый. Блеск сильный. Твердость по Моосу 150 г (тарированном по 1681—1771 кг/мм<sup>2</sup>). Площадь 4.25(2), вычисленная по формуле (254 нм) и длинноволновой дисперсии (по Ng), желто-зеленой (по Ng), желто-зеленой: Ng > Nm > Np.

Минерал оптически анизотропен. В тонком шлифе не удалось наблюдать только небольших наклонов. По изгибу изогир, у относительно редких проявляет как положительным, так и отрицательным. Наблюдается полного поперечного разлома светом возникают яркие разрезах аномальные краевые. Относительно положения погасения. Чаще отмечаются на столике Федорова. Измерялись в высококонтрастном свете натровой лампы (контраст). В оптике (однолучном гониометрии), а n<sub>g</sub> определен в спектре.

В оптических спектрах (фирмы Opton (рис. 5), ясно видны для соединений, окраска 435 и 600 нм (по Np). По сравнению с мариинским месторождением поглощения мариинскита объясняет отсутствие аномалий поглощения, вероятно, обусловлено по сравнению с аномалиями.

Мариинскит хорошо полируется на шлифовальных подложках мариинскита и силиката. В свете минерал серый, с оптически анизотропным характером. В сравнении с хромитом, имеет способность в воздухе (R<sub>max</sub> (ста, и близка к хромиту, а в мариинскита-(II) и близка к таковой. На микроскопе-фотометре чтобы усреднить некоторую изменчивости состава в разных направлениях положим характером со светом (рис. 6), что согласуется с



Таблица 1

(5) и хромита-(II) (6)  
(5) and chromite-(II) (6)

	Хромит	
	5	6
	13.98	5.12
	55.65	64.68
	0.25	0.19
	0.00	0.00
	20.06	22.42
	0.96	0.94
	8.34	6.09
	0.26	0.31
	99.50	99.76

ния компонента ниже предела обнаружения. 4,  $z$ ; формулы (расчет на  $O = 3$ ):  
 $(Cr_{1.81}Al_{0.18}V_{0.01}^{3+})_2O_3$ ; 4 —  
 ан.),  $(Fe_{0.55}^{+2}Mg_{0.41}Mn_{0.03}^{+2}Zn_{0.01})_{1.00}$   
 и (среднее по 3 ан.),  $(Fe_{0.65}^{+2}Mg_{0.32}$   
 с помощью энергодисперсионного  
 ре JСХА-733, 20 кВ, 2 нА; аналитик

аще приуроченные к зале-  
 более мелкозернистый агре-  
 од Изумрудных копей хам-  
 (Власов, Кутукова, 1960;  
 анализам слюд, из описы-  
 ем по сравнению с муско-

индивидами темно-зеленого  
 обычно он приурочен к крае-  
 на обнаруживают зональ-  
 о-зондовых исследованиях  
 клатуре группы турмалина  
 дравиту, фтордравиту и  
 азует зерна с извилистыми  
 ка размерами до 200 мкм в  
 тиме BSE ростовая зональ-  
 обогащены алюминием, а к

а), как правило, без призна-  
 ечаются зерна, в ограничен-  
 орошо образованных кри-  
 бой псевдогексагональные  
 а). Индивиды маринскита  
 имой в прозрачных шлифах  
 зональность и секториаль-  
 нивости в некоторых преде-  
 (рис. 8, 9; табл. 3). Весьма  
 яя, что в плоских сечениях  
 тину.

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Цвет маринскита очень темный, насыщенно-зеленый, хорошо видимый в мелких зернах (0.1 мм и меньше) при ярком освещении. Цвет порошка минерала (черта) светло-зеленый. Блеск сильный стеклянный. В тонких сколах прозрачный. Излом раковистый. Твердость по Моосу  $8\frac{1}{2}$ , микротвердость, измеренная на ПМТ-3 при нагрузке 150 г (тарированном по NaCl),  $1725 \text{ кг/мм}^2$  (среднее по 12 замерам, при разбросе  $1681\text{—}1771 \text{ кг/мм}^2$ ). Плотность, определенная в растворе жидкости Клеричи, составляет  $4.25(2)$ , вычисленная  $4.25 \text{ г/см}^3$ . Маринскит не люминесцирует в коротковолновом (254 нм) и длинноволновом (315 нм) ультрафиолетовом свете, а также в катодных лучах. В прозрачных шлифах маринскит имеет изумрудно-зеленый цвет, но более светлый, чем у эсколаита. Характерен интенсивный плеохроизм от изумрудно-зеленого (по  $N_g$ ), желто-зеленого (по  $N_m$ ), до зеленовато-желтого (по  $N_p$ ). Схема абсорбции:  $N_g > N_m > N_p$ .

Минерал оптически двуосный, положительный. Угол  $2V$  измерить на Федоровском столике не удалось из-за эффекта полного внутреннего отражения при относительно небольших наклонах (следствие высоких показателей преломления). Оцененный по изгибу изогир, угол  $2V$  составляет  $80^\circ \pm 10^\circ$ , вычисленный  $80.5^\circ$ . Погасание относительно редких прямолинейных границ зерен прямое, а удлинение при этом бывает как положительным, так и отрицательным. Погасание относительно часто наблюдаемых трещин спайности прямое, удлинение отрицательное. Изредка наблюдаются трещины спайности, угасание относительно которых косое. Довольно часто не наблюдается полного погасания в белом свете, а в момент погасания при 589 нм в белом свете возникают яркие медно-красные или винно-красные окраски. На других разрезах аномальные красные цвета наблюдаются в диагональном положении относительно положения погасания. Редко встречаются тройники срастания хризобериллового типа. Чаще отмечаются сростки с извилистыми границами, которые, судя по замерам на столике Федорова (точность которых, к сожалению, невысока), возможно, являются двойниками прорастания. Показатели преломления ( $n_p$  и  $n_m$ ) маринскита измерялись в высокопреломляющих жидкостях фирмы Cargille Laboratories, USA, в свете натровой лампы (контроль показателей преломления жидкостей проводился на однокружном гониометре в пустотелой призме методом угла наименьшего отклонения), а  $n_g$  определен в сплаве селена с серой:  $n_g = 2.15(1)$ ,  $n_m = 2.09(3)$ ,  $n_p = 2.05(1)$ .

В оптических спектрах поглощения, снятых на микроскопе-фотометре UMSP-50D фирмы Opton (рис. 5), ясно проявляются две широкие полосы поглощения, характерные для соединений, окраска которых связана с  $Cr^{3+}$ : в районе 430 и 620 нм (по  $N_g$ ) и 435 и 600 нм (по  $N_p$ ). По сравнению с положением полос поглощения в александрите из Мариинского месторождения (снятом в аналогичных условиях) указанные полосы поглощения маринскита смещены в более длинноволновую область спектра, что объясняет отсутствие александритового эффекта у нового минерала. Смещение полос поглощения, вероятно, обусловлено большими размерами октаэдров  $MO_6$  в маринските по сравнению с александритом, содержащим только 0.3 мас. %  $Cr_2O_3$ .

Маринскит хорошо полируется, но при использовании недостаточно жестких полировальных подложек может развиваться заметный положительный рельеф относительно хромита и силикатов, с которыми срастается новый минерал. В отраженном свете минерал серый, с очень слабым голубоватым оттенком, особенно заметным в сравнении с хромитом, имеющим легкий коричневатый оттенок. Отражательная способность в воздухе ( $R_{\max(589)} = 12.9\%$ ,  $R_{\min(589)} = 12.3\%$ ) заметно ниже, чем у эсколаита, и близка к хромиту, а в иммерсии отражение маринскита заметно ниже, чем у хромита-(II) и близко к таковому у хромита-(I). Спектры отражения минерала получены на микроскопе-фотометре UMSP-50D (стандарт SiC) с участков диаметром 16 мкм, чтобы усреднить некоторые вариации отражательной способности минерала из-за изменчивости состава в разных зонах роста. Спектры отражения характеризуются очень пологим характером со слабо проявленным максимумом в синей области спектра (рис. 6), что согласуется с визуальной оценкой цвета маринскита в отраженном све-

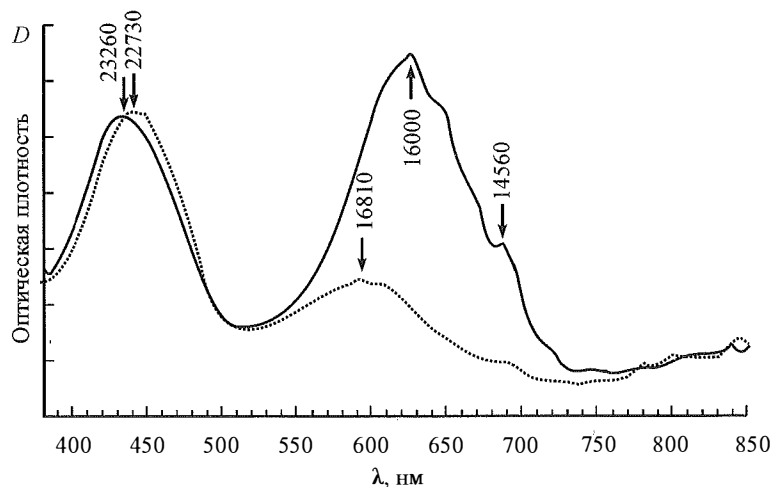


Рис. 5. Спектры пропускания мариинскита.

Верхний спектр — разрез, параллельный  $Ng$ , нижний спектр — параллельный  $Np$  (положение пиков поглощения подписано в  $см^{-1}$ ).

Fig. 5. Transmission optical spectra of mariinskite.

те. Мариинскит характеризуется очень сильными зелеными внутренними рефлексамми, что в некоторой степени затрудняет получение корректных спектров отражения. Двухотражение очень слабое, анизотропия слабая без цветных эффектов.

ИК-спектр мариинскита получен на ИК-спектрометре Specord-75IR с микротаблетками минерала в KBr; в аналогичных условиях снят ИК-спектр хризоберилла из Мариинского месторождения (рис. 7). Согласно данным, полученным для хризоберилла И. И. Плюсниной (1963) и А. М. Хофмейстером с соавторами (Hofmeister et al., 1987), а также данным, обобщенным А. С. Поваренных для различных минералов (Поваренных, 1970; Povarennykh, 1978), полосы поглощения в ИК-спектре мариин-

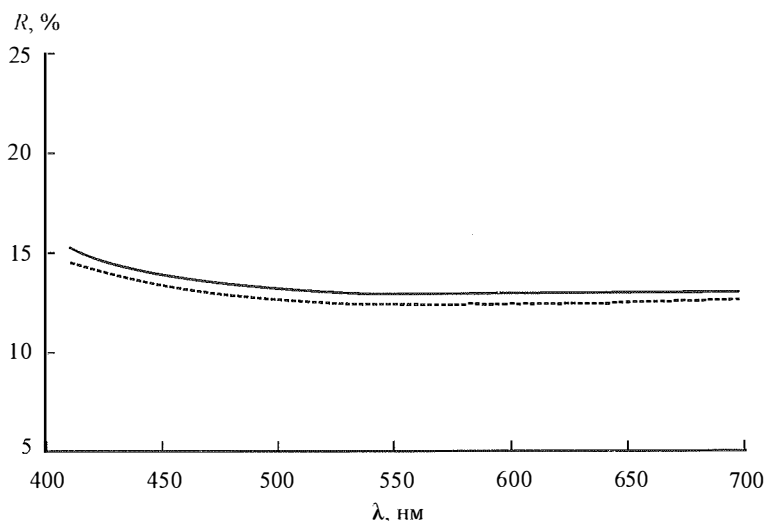


Рис. 6. Спектры отражения мариинскита.

Верхний спектр —  $R_{max}$ , нижний —  $R_{min}$ .

Fig. 6. Reflection spectra of mariinskite: the upper spectrum —  $R_{max}$ , the lower one —  $R_{min}$ .

Рис. 7. ИК-спектры: мариинскит (а) Мариинского месторождения.

Fig. 7. IR spectra of mariinskite (a) from the Mariinskite deposit.

скита в диапазоне 600–1600  $см^{-1}$  относится к колебаниям тетраэдров ( $BeO_4$ )-тетраэдров в диапазоне 400–650  $см^{-1}$  относится к колебаниям октаэдров. Интенсивная полоса при 1600  $см^{-1}$ , которая приводится некоторыми авторами, относится к колебаниям тетраэдров, принадлежащих к кварцовой структуре материала ступки, в которой этот минерал.

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

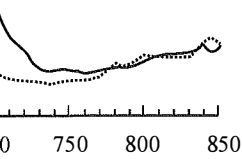
Химический состав мариинскита изучался методом рентгеновского микроанализа (РМ) с использованием энергодисперсионного метода. Выполнено 92 анализа на волново-дисперсионном методе геологии и геохимии.

## Химический состав

### Chemical composition

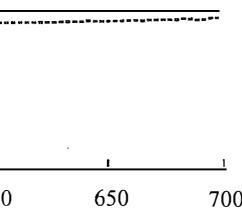
Компонент	среднее	пр
	1	
BeO	16.3	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.89	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	58.67	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26	
FeO	—	
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26	
TiO <sub>2</sub>	0.61	
SiO <sub>2</sub>	—	
Сумма	99.98	

Примечание. \* В работе прочерк в анализах означает, что элемент не обнаружен. Анализ выполнен на EDS (INCA), JEOL JCSXA-7330. Литик В. В. Хиллер.  $Be_{1.03}(Cr_{0.4-6} - \text{хромсодержащий хризоберилл}) = 0.29$  мас. %;  $Be_{0.93}(Al_{1.99}Fe_{0.92}Al_{1.98}Fe_{0.05}Cr_{0.02}Cu_{0.01})$  дят (мас. %): CaO — 1.5;  $(Al_{1.90}Ca_{0.03}Fe_{0.03}^{+2}Fe_{0.01}^{+3}Cr_{0.01})$ .



ниинскита.  
ый  $\nu_p$  (положение пиков поглощения под-  
ariinskite.

енными внутренними рефлекса-  
рректных спектров отражения.  
ветных эффектов.  
етре Specord-75IR с микротаб-  
т ИК-спектр хризоберилла из  
ым, полученным для хризобе-  
с соавторами (Hofmeister et al.,  
ых для различных минералов  
ощения в ИК-спектре мариин-



ниинскита.  
 $R_{min}$   
—  $R_{max}$ , the lower one —  $R_{min}$ .

Рис. 7. ИК-спектры: мариинскит (а) и хризоберилл (б) Мариинского месторождения.

Fig. 7. IR spectra of mariinskite (a) and chrysoberyl (b) from the Mariinsky deposit.

скита в диапазоне 600—1000  $\text{cm}^{-1}$ , вероятно всего, относятся к валентным колебаниям  $(\text{BeO}_4)$ -тетраэдров, а полоса диапазона 400—650  $\text{cm}^{-1}$  — к валентным колебаниям октаэдров  $(\text{Cr,Al})\text{O}_6$ . Интенсивная полоса (1080—1090  $\text{cm}^{-1}$ ), которая приводится для хризоберилла некоторыми авторами, по всей видимости, принадлежит кварцу, возможно, от материала ступки, в которой растирали этот минерал.

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Химический состав мариинскита изучался методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на электронно-зондовых микроанализаторах с применением энергодисперсионных и волново-дисперсионных спектрометров. Было выполнено 92 анализа (табл. 2, 3), из них 20 анализов включали измерение бериллия на волново-дисперсионном спектрометре (табл. 3). Анализы выполнялись в Институте геологии и геохимии УрО РАН (аналитик В. В. Хиллер) на электронном микрозон-

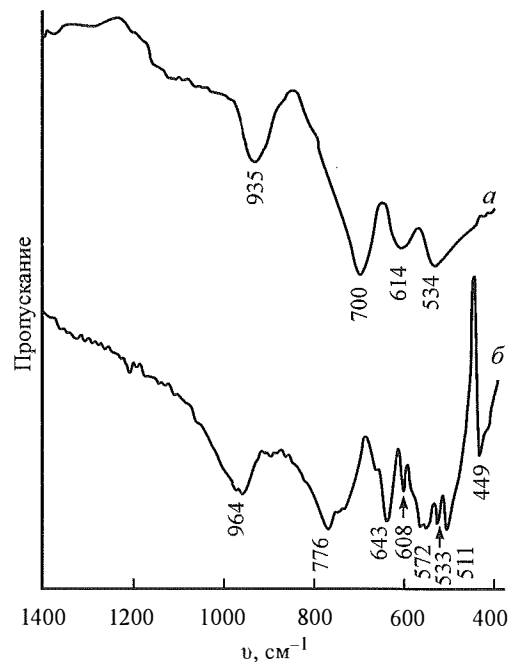


Таблица 2

Химический состав (мас. %) мариинскита (1—3) и хризоберилла (4—7)

Chemical composition (wt %) of mariinskite (1—3) and chrysoberyl (4—7)

Компонент	Мариинскит			Хризоберилл			
	среднее	пределы вариаций	$\text{BeCr}_2\text{O}_4$				$\text{BeAl}_2\text{O}_4$
	1	2	3	4	5*	6	7
BeO	16.3	15.4—17.2	14.13	18.02	17.50	18.74	19.70
$\text{Al}_2\text{O}_3$	23.89	15.24—29.73		78.92	77.07	75.26	80.30
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	58.67	52.99—65.39	85.87	0.36	0.93	0.30	
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.26	0.11—0.40			3.07	0.31	
FeO	—	—		3.12	—	1.41	
$\text{V}_2\text{O}_3$	0.26	0.10—0.39			—	—	
$\text{TiO}_2$	0.61	0.08—1.80			—	Следы	
$\text{SiO}_2$	—	—		—	—	2.43	
Сумма	99.98		100.00	100.71	99.14	100.10	100.00

Примечание. \* В работе (Шубин, 1843) приведены массовые количества окислов в расчете на массу навески. Прочерк в анализах означает, что данные о компоненте не приводятся. 1 — среднее по 92 ан.; из них 72 анализа получено на EDS (INCA), JEOL JCSXA-733, 20 кВ, 2 нА, аналитик Л. А. Паутов; 20 ан. — на WDS Cameca SX 100, 10 кВ, 100 нА, аналитик В. В. Хиллер).  $\text{Be}_{1.03}(\text{Cr}_{1.22}\text{Al}_{0.74}\text{Ti}_{0.01}\text{Fe}_{0.01}\text{V}_{0.01})_{1.99}\text{O}_4$  (расчет формулы на  $\text{O} = 4$ ); 3 — теоретический состав; 4—6 — хромсодержащий хризоберилл, Урал; «мокрая» химия; 4 — (Авдеев, 1842), в сумму анализа входит  $\text{CuO} + \text{PbO} = 0.29$  мас. %;  $\text{Be}_{0.93}(\text{Al}_{1.99}\text{Fe}_{0.05}\text{Cr}_{0.01})_{2.05}\text{O}_4$ ; 5 — (Шубин, 1843), в сумму анализа входит  $\text{CuO} = 0.57$  мас. %;  $\text{Be}_{0.92}(\text{Al}_{1.98}\text{Fe}_{0.05}\text{Cr}_{0.02}\text{Cu}_{0.01})_{2.06}\text{O}_4$ ; 6 — аналитик М. Е. Казакова (Власов, Кутукова, 1960), в сумму анализа входят (мас. %):  $\text{CaO} = 1.51$ ,  $\text{SnO}_2 = 0.04$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+ = 0.10$ ; не обнаружены Mn, Mg;  $(\text{Be}_{0.96}\text{Si}_{0.05})_{1.01}(\text{Al}_{1.99}\text{Ca}_{0.03}\text{Fe}_{0.03}^{+2}\text{Fe}_{0.01}^{+3}\text{Cr}_{0.01})_{1.98}\text{O}_4$  (расчет формул на  $\text{O} = 4$ ); 7 — теоретический состав.

## Химический состав мариинскита (представительные точечные анализы)

## Chemical composition of mariinskite (representative points analyses)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Мас. %													
BeO*	15.97	15.83	15.15	15.08	15.39	15.03	15.89	15.87	15.74	14.79	15.60	15.45	16.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.39	26.23	18.46	18.77	21.66	17.45	27.96	29.12	27.17	13.65	24.24	18.48	27.08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	53.94	56.35	64.23	63.77	60.60	65.06	54.02	52.71	54.24	68.89	57.81	64.47	57.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.32	0.22	0.31	0.00	0.12	0.27	0.17	0.00	0.17	0.27	0.21	0.58	0.27
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.35	0.33	0.28	0.26	0.20	0.23	0.34	0.24	0.19	0.38	0.35	0.20	0.14
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.26	0.00	0.00	0.00	0.37	0.36	0.40	0.45	0.33	0.00	0.71	0.40
Сумма	99.15	99.22	98.43	97.88	97.97	98.41	98.73	98.34	97.96	98.31	98.21	99.89	101.07
Формульные коэффициенты в расчете на O = 4													
Be <sup>+2*</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Al <sup>+3</sup>	0.87	0.81	0.60	0.61	0.69	0.57	0.86	0.90	0.85	0.45	0.76	0.59	0.82
Cr <sup>+3</sup>	1.11	1.17	1.39	1.39	1.30	1.42	1.12	1.09	1.14	1.53	1.22	1.38	1.16
Fe <sup>+3</sup>	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
V <sup>+3</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Ti <sup>+4</sup>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Σ катионов	3.00	3.00	3.01	3.01	2.99	3.02	3.00	3.01	3.00	3.01	2.99	2.99	3.00

Таблица 3 (продолжение)

Компонент	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Мас. %													
BeO*	15.28	15.48	15.87	15.58	15.84	15.12	15.00	15.73	16.01	16.08	15.72	14.79	15.96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.04	18.33	23.82	20.00	27.10	18.89	16.46	25.61	26.85	27.17	23.05	13.45	25.66
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	66.17	65.17	59.83	63.75	55.49	63.22	66.34	57.03	56.47	56.54	60.46	68.92	57.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.24	0.21	0.21	0.00	0.00	0.12	0.28	0.00	0.20	0.20	0.36	0.26	0.15
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.32	0.30	0.31	0.35	0.26	0.30	0.30	0.30	0.30	0.18	0.22	0.28	0.19
TiO <sub>2</sub>	0.60	0.73	0.44	0.73	0.37	0.96	1.01	0.37	0.27	0.29	0.11	0.61	0.41
Сумма	99.65	100.22	100.48	100.41	99.06	98.61	99.39	99.04	100.10	100.46	99.92	98.31	99.98

## Формульные коэффициенты в расчете на O = 4

Be <sup>+2*</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Al <sup>+3</sup>	0.55	0.58	0.74	0.63	0.84	0.61	0.53	0.80	0.82	0.83	0.72	0.45	0.79
Cr <sup>+3</sup>	1.43	1.39	1.24	1.35	1.15	1.36	1.44	1.19	1.16	1.16	1.27	1.53	1.19
Fe <sup>+3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
V <sup>+3</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Ti <sup>+4</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Σ катионов	3.00	2.99	3.00	3.00	3.01	3.00	3.01	3.01	3.00	3.00	3.00	3.01	2.99

Таблица 3 (продолжение)

Компонент	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	Мас. %												
BeO*	15.28	15.48	15.87	15.58	15.84	15.12	15.00	15.73	16.01	16.08	15.72	14.79	15.96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.04	18.33	23.82	20.00	27.10	18.89	16.46	25.61	26.85	27.17	23.05	13.45	25.66
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	66.17	65.17	59.83	63.75	55.49	63.22	66.34	57.03	56.47	56.54	60.46	68.92	57.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.24	0.21	0.21	0.00	0.00	0.12	0.28	0.00	0.20	0.20	0.36	0.26	0.15
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.32	0.30	0.31	0.35	0.26	0.30	0.30	0.30	0.30	0.18	0.22	0.28	0.19
TiO <sub>2</sub>	0.60	0.73	0.44	0.73	0.37	0.96	1.01	0.37	0.27	0.29	0.11	0.61	0.41
Сумма	99.65	100.22	100.48	100.41	99.06	98.61	99.39	99.04	100.10	100.46	99.92	98.31	99.98

Формульные коэффициенты в расчете на O = 4

Be <sup>+2*</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Al <sup>+3</sup>	0.55	0.58	0.74	0.63	0.84	0.61	0.53	0.80	0.82	0.83	0.72	0.45	0.79
Cr <sup>+3</sup>	1.43	1.39	1.24	1.35	1.15	1.36	1.44	1.19	1.16	1.16	1.27	1.53	1.19
Fe <sup>+3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
V <sup>+3</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Ti <sup>+4</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Σ катионов	3.00	2.99	3.00	3.00	3.01	3.00	3.01	3.01	3.00	3.00	3.00	3.01	2.99

Таблица 3 (продолжение)

Компонент	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	Мас. %												
BeO	15.4	16.2	15.8	17.5	15.1	18.2	16.8	15.6	15.5	16.1	16.9	18.2	17.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.55	16.13	18.23	22.48	16.25	23.02	28.30	58.06	61.14	62.93	65.58	53.67	62.76
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	64.72	65.52	60.97	58.93	65.07	57.43	53.67	25.86	20.47	19.11	15.38	26.01	17.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23	0.14	0.10	0.09	0.20	0.17	0.19	0.23	1.49	0.86	1.25	1.19	1.44
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.29	0.35	0.40	0.31	0.31	0.25	0.27	0.21	0.17	0.12	0.17	0.16	0.11
TiO <sub>2</sub>	1.65	1.24	2.97	0.91	1.85	1.61	0.58	0.26	0.35	0.26	0.33	0.32	0.48
Сумма	98.87	99.54	98.45	100.25	98.78	100.70	99.76	100.20	99.16	99.39	99.57	99.58	99.01
	Формульные коэффициенты в расчете на O = 4												
Be <sup>+2*</sup>	1.01	1.05	1.03	1.10	1.00	1.13	1.04	0.98	1.00	1.04	1.10	1.12	1.11
Al <sup>+3</sup>	0.53	0.52	0.58	0.69	0.53	0.70	0.86	1.20	1.30	1.34	1.40	1.09	1.33
Cr <sup>+3</sup>	1.40	1.40	1.31	1.21	1.41	1.17	1.09	0.80	0.65	0.61	0.49	0.79	0.54
Fe <sup>+3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
V <sup>+3</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti <sup>+4</sup>	0.03	0.03	0.06	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Σ катионов	2.99	3.01	2.99	3.03	2.99	3.03	3.01	2.99	2.99	3.01	3.02	3.03	3.03

Примечание. 1—26 — номера анализов соответствуют номерам точек на рис. 8, а, б; условия анализа EDS (INCA), JEOL JCSA-733, 20 кВ, 2 нА, аналитик Л. А. Паутов. \*BeO — расчетные содержания; 27—39 — номера анализов соответствуют номерам точек на рис. 9; WDS Cameca SX 100, 10 кВ, 100 нА, аналитик В. В. Хиллер.

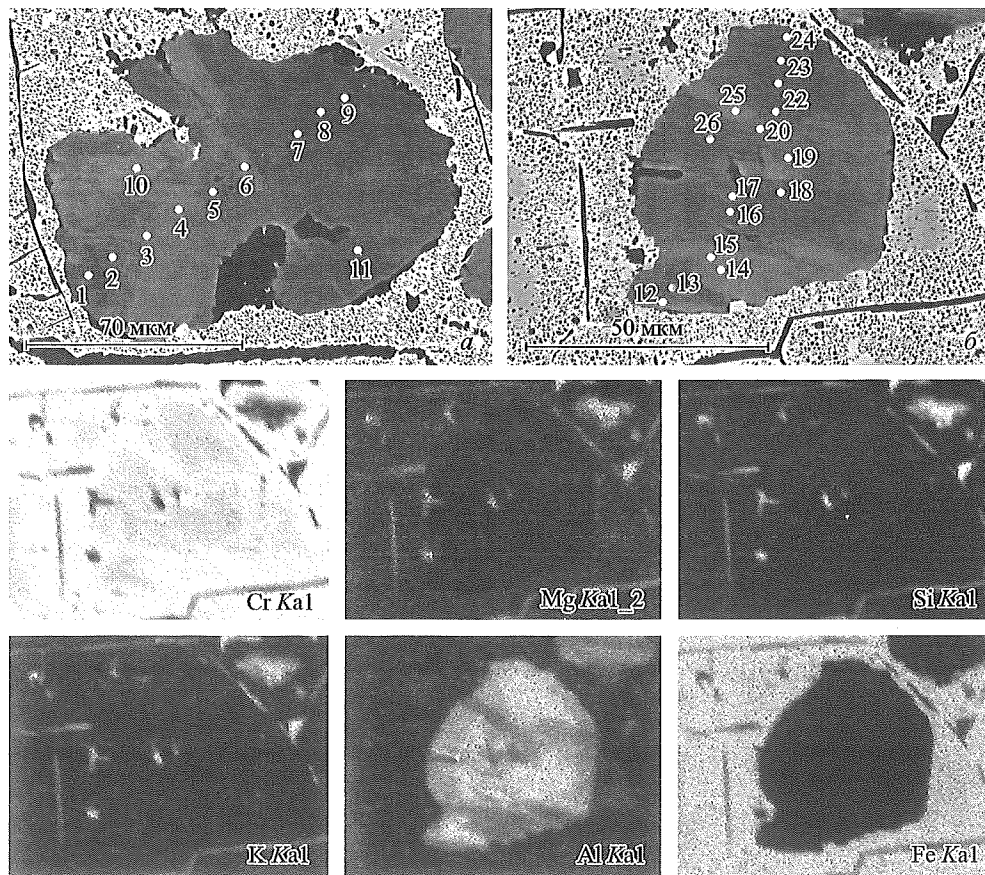


Рис. 8. Изображение зерен мариинскита в хромите с пластинчатыми выделениями фторфлогопита в режиме BSE (а, б) и характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов (для зерна, показанного на рис. б); номера точек соответствуют номерам анализов в табл. 3. Электронно-зондовый микроанализатор JCXA-733 JEOL.

Fig. 8. BSE images of mariinskite grains in chromite with lamellae of fluoro-phlogopite (a, b), and in characteristic X-ray emissions of their elements; for the grain shown on Fig. 8 (b).

де Cameca SX 100, укомплектованном пятью волново-дисперсионными спектрометрами (условия анализа: ускоряющее напряжение  $U = 10$  кВ, ток зонда  $I = 100$  нА, диаметр зонда — 2 мкм, определяемый элемент, аналитическая линия, стандарт:  $AlK_{\alpha}$  — синт.  $Al_2O_3$ ;  $TiK_{\alpha}$  — синт.  $TiO_2$ ;  $CrK_{\alpha}$  — синт.  $Cr_2O_3$ ;  $FeK_{\alpha}$  — синтетическое стекло андрадитового состава;  $BeK_{\alpha}$  — хризоберилл) и в лаборатории Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана РАН (аналитик Л. А. Паутов) на электронном микрозонде JCXA-733 Superprobe фирмы JEOL, укомплектованном пятью волново-дисперсионными спектрометрами и энергодисперсионным спектрометром с системой анализа INCA Energy OXFORD [условия анализа на энергодисперсионном спектрометре: ускоряющее напряжение  $U = 20$  кВ, ток зонда  $I = 2$  нА, диаметр зонда — 1 мкм, время набора спектра (живое время) — 100 с; определяемый элемент, аналитическая линия, стандарт:  $AlK_{\alpha}$  — синт.  $Al_2O_3$ ;  $TiK_{\alpha}$  — синт.  $MnTiO_3$ ;  $CrK_{\alpha}$  — синт.  $Cr_2O_3$ ;  $FeK_{\alpha}$  — синт.  $Fe_2O_3$ ;  $VK_{\alpha}$  — синт.  $V_2O_5$ ].

Более подробно остановимся на условиях микрорентгеноспектрального определения бериллия в мариинските на электронном микрозонде Cameca SX 100, поскольку оно пока не относится к рутинным видам анализа. На исследуемый минерал и стандартный образец хризоберилла термическим напылением наносился слой углерода

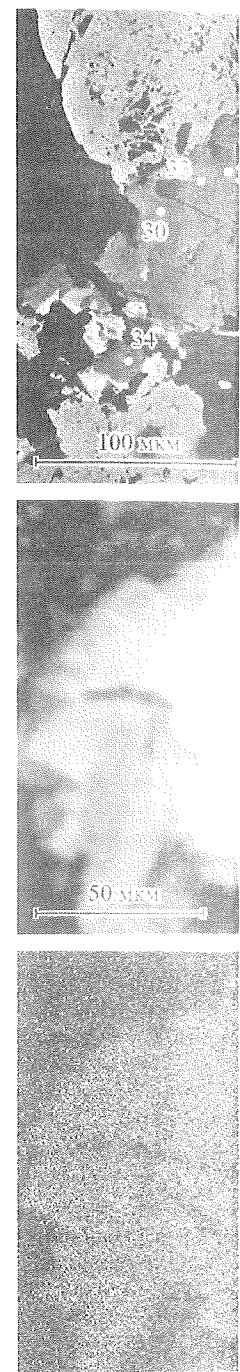
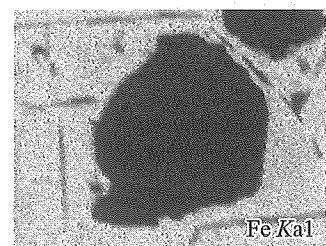
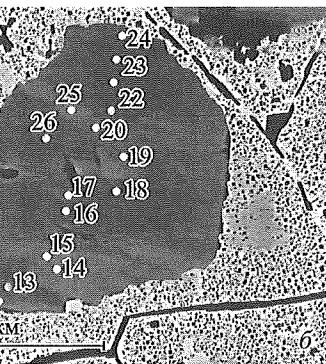


Fig. 9. Зерна мариинскита в хромите с пластинчатыми выделениями фторфлогопита в режиме BSE (а, б) и характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов (для зерна, показанного на рис. б); номера точек соответствуют номерам анализов в табл. 3.

Fig. 9. BSE images and characteristic X-ray emissions of their elements; for the grain shown on Fig. 9 (b).



выделениями фторфлогопита в  
резанных элементах (для зерна, по-  
казанного в табл. 3. Электронно-зондовый  
анализ фторфлогопита (а, б), and in charac-  
teristic X-ray maps shown on Fig. 8 (б).

дисперсионными спектромет-  
рами: 10 кВ, ток зонда  $I = 100$  нА, диа-  
фрагма, стандарт:  $AlK_{\alpha}$  —  
— синтетическое стекло ан-  
титермической Минералогического му-  
зея на электронном микрозонде  
с пятью волново-дисперсион-  
ными спектрометрами с системой анализа  
дисперсионным спектрометром:  
диаметр зонда — 1 мкм, время  
анализа, аналитическая линия,  
— синт.  $Cr_2O_3$ ;  $FeK_{\alpha}$  — синт.

микроспектрального определе-  
ния Cameca SX 100, поскольку  
исследуемый минерал и стан-  
дарт наносился слой углерода

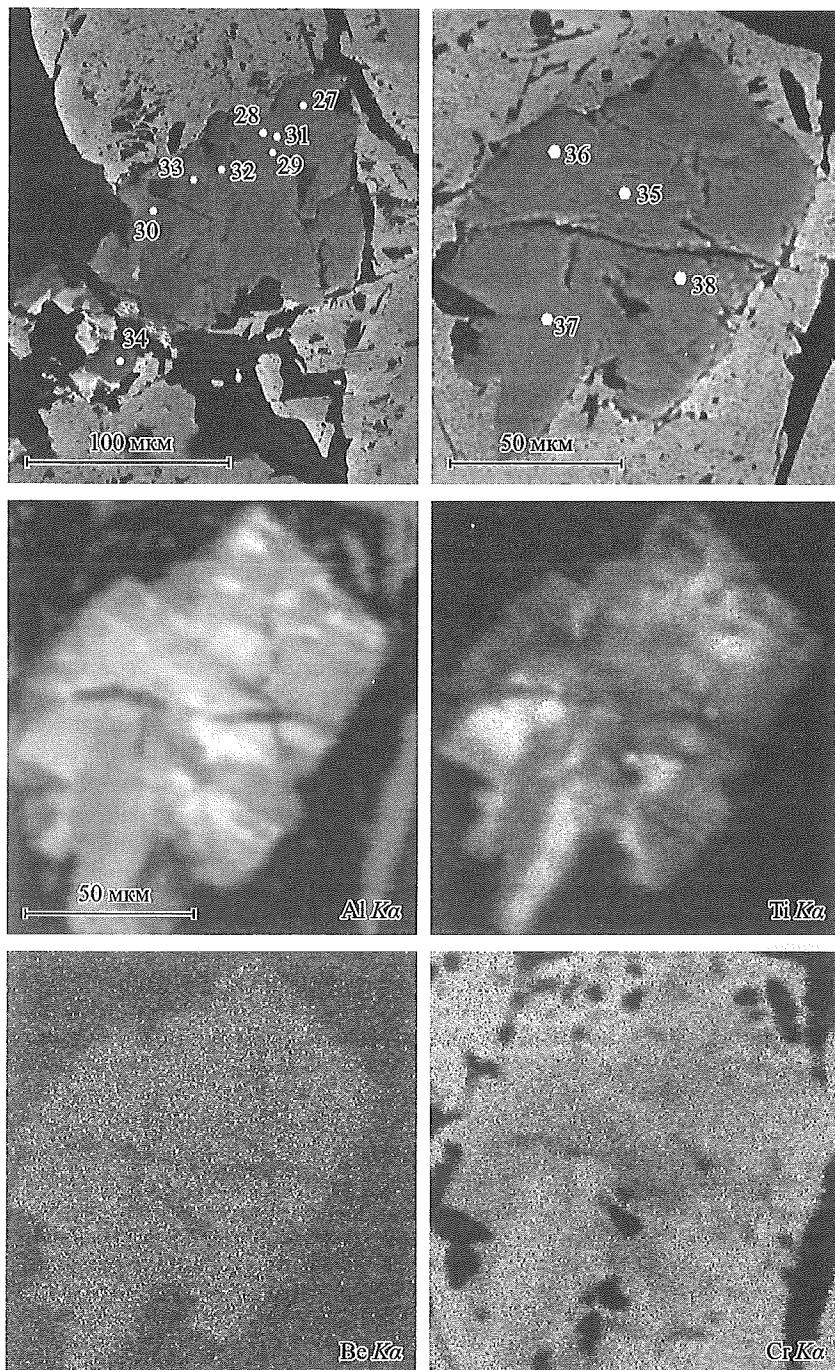


Fig. 9. Зерна мариинскита (изображение в режиме BSE и в характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов), в которых был измерен бериллий микрорентгеноспектральным методом. Номера точек соответствуют номерам анализов в табл. 3. Электронно-зондовый микроанализатор Cameca SX 100.  
Fig. 9. BSE images and elemental X-ray maps of mariinskite grains, in which beryllium was determined by means of EMPA.

толщиной 250 Å. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 10 кВ и силе тока на цилиндре Фарадея 100 нА с использованием кристалла-анализатора РСЗ и газо-проточного счетчика (газовая смесь Ar—CH<sub>4</sub>, соотношение 9 : 1) с полипропиленовым окном толщиной 2000 Е, режим работы детектора автодифференциальный. Положение пика ВеК<sub>α</sub> (SinΘ · 10<sup>5</sup>) — 61629, фона слева — 8500, фона справа — 8620 относительно положения пика. Время измерения на пике 20 с, на фоне с каждой стороны от пика — 10 с. Скорость счета на пике ВеК<sub>α</sub> в стандартном образце хризоберилла составила 31 имп/с, на точках фона — 19 (слева от пика) и 8 имп/с (справа от пика) соответственно. Расчет концентраций выполнялся по модели X-PHI. При данных условиях предел обнаружения бериллия составил в среднем 1.7 мас. %.

Несмотря на некоторые вариации состава минерала в различных зонах и секторах роста (рис. 8, 9; табл. 2, 3), все анализы удовлетворительно рассчитываются на формулу Ве(Cr,Al,Fe,Ti,V)<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и лежат в поле составов мариинскита (рис. 2). Эмпирическая формула при расчете на O = 4 усредненного состава нового минерала Ве<sub>1.03</sub>(Cr<sub>1.22</sub>Al<sub>0.74</sub>Ti<sub>0.01</sub>Fe<sub>0.01</sub>V<sub>0.01</sub>)<sub>1.99</sub>O<sub>4</sub>. Упрощенная формула мариинскита Ве(Cr,Al)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Идеализированная формула конечного члена ВеCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

Мариинскит устойчив к действию кислот: он не растворяется при комнатной температуре и в кипящих HCl, HNO<sub>3</sub>, HF. Растворяется он лишь при нагревании в смеси хлорной и фосфорной кислот.

### РЕНТГЕНОВСКИЕ ДАННЫЕ

Монокристалльное рентгеновское изучение нового минерала, к сожалению, не позволило расшифровать кристаллическую структуру, так как пока не удалось найти зерна мариинскита удовлетворительного качества — все изученные зерна представляли собой незакономерные сростки sdвойникованных индивидов. Е. В. Соколовой

Таблица 4

Результаты расчета рентгеновской порошковой диаграммы мариинскита

X-ray powder-diffraction data for mariinskite

<i>I</i> <sub>отн.</sub>	<i>d</i> <sub>изм.</sub> (Å)	<i>d</i> <sub>расч.</sub> (Å)	<i>hkl</i>	<i>I</i> <sub>отн.</sub>	<i>d</i> <sub>изм.</sub> (Å)	<i>d</i> <sub>расч.</sub> (Å)	<i>hkl</i>
4	4.08	4.083	101	2	1.331	1.328	141
9	3.31	3.303	111, 201	1	1.325	1.323	313
5	2.629	2.630	301	2	1.275	1.276	403
5	2.434	2.433	220	1	1.216	1.216	440, 800
4	2.381	2.382	311	1	1.193	1.192	042
2	2.316	2.315	121	1	1.163	1.162	133, 423, 513
6	2.139	2.140	221	1	1.123	1.125	004
		2.139	401	1	1.120	1.118	342
1	1.999	1.999	411	1	1.098	1.096	114, 204
2	1.701	1.702	131, 421, 511	1	1.084	1.084	151
10	1.651	1.652	222	2	1.071	1.070	442, 802
		1.651	402	1	1.020	1.020	450, 830, 143
1	1.587	1.584	412	1	0.924	0.924	334, 604, 650
2	1.525	1.526	331	1	0.905	0.905	651, 742
		1.525	601	1	0.882	0.882	361
2	1.507	1.507	521	2	0.878	0.878	044, 624
1	1.490	1.484	430	1	0.857	0.857	315
1	1.473	1.472	611	2	0.853	0.854	652, 125
3	1.405	1.405	040			0.851	262, 842
		1.404	620				

Примечание. Условия съемки — фотометод, камера DSK-60A, диаметр 57.3 мм, CuK<sub>α</sub>-излучение, Ni-фильтр. Поправки внесены по отдельным снимкам с кварцем и кремнием.

Сравни  
Сопраг

Характеристика
Формула
Пространственная группа
<i>a</i> , Å
<i>b</i> , Å
<i>c</i> , Å
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>
<i>Z</i>
Цвет
<i>D</i> , г/см <sup>3</sup>
Оптический знак, осьность
<i>n<sub>p</sub></i>
<i>n<sub>m</sub></i>
<i>n<sub>g</sub></i>
2 <i>V</i> , град.
Источник

по результатам монокристаллического рентгеновского изучения: *a* = 9.709(2), *b* = 5.1... мариинскита проводились расчеты порошковой рентгеновской сингонии, при этом использовались данные из базы данных МК по проекту ICDD (номер МК по проекту ICDD = 245.9(3) Å<sup>3</sup>, *Z* = 4). Для удобства сравнения параметров кристаллической структуры мариинскита с параметрами синтетического мариинскита (Valkenburg, 1960; Clinch, 1960) альтернативные варианты формулы (Bragg, Brown, 1926). Наличие мариинскита по монокристаллическому рентгеновскому изучению указывает на неоднородность состава минерала, различиями в составе минерала в той-то степени усредненные. Индекс сходимости минерала по усредненному составу (по данным порошковой рентгеновской дифракции) мариинскит является новым минералом с синтетическим аналогом.

Проблема генезиса мариинскита в последние годы привлекает внимание исследователей. На примере, в том числе, на теории пегматитов...



## Сравнительная характеристика мариинскита и родственных фаз

## Comparative characteristics of the mariinskite and similar phases

Характеристика	Мариинскит	Синт. $\text{BeCr}_2\text{O}_4$	Хризоберилл
Формула	$\text{Be}(\text{Cr},\text{Al})_2\text{O}_4$	$\text{BeCr}_2\text{O}_4$	$\text{BeAl}_2\text{O}_4$
Пространственная группа	<i>Rnma</i>	<i>Rnma</i>	<i>Rnma</i>
<i>a</i> , Å	9.727(3)	9.792	9.404
<i>b</i> , Å	5.619(1)	5.663	5.476
<i>c</i> , Å	4.499(1)	4.555	4.727
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	245.9(3)	252.6	243.4
<i>Z</i>	4	4	4
Цвет	Темно-зеленый	Черный (в проходящем свете — темно-зеленый)	Бесцветный, белый (для хромсодержащих разновидностей — светло-зеленый, зеленый)
<i>D</i> , г/см <sup>3</sup>	4.25(2)	4.42	3.69
Оптический знак, осьность	Двуосный (+)	Двуосный (-)	Двуосный (+)
<i>n<sub>p</sub></i>	2.05(1)	2.143	1.746
<i>n<sub>m</sub></i>	2.09(3)	—	1.748
<i>n<sub>g</sub></i>	2.15(1)	2.230	1.756
2 <i>V</i> , град.	80(10)	45	45
Источник	Данные авторов	Weir, Valkenburg, 1960	Cline et al., 1979

напряжении 10 кВ и силе тока  
сталла-анализатора РСЗ и га-  
пошение 9 : 1) с полипропилен-  
гора автодифференциальный.  
— 8500, фона справа — 8620  
ке 20 с, на фоне с каждой сто-  
дартном образце хризоберил-  
ка) и 8 имп/с (справа от пика)  
модели X-PHI. При данных  
еднем 1.7 мас. %.

в различных зонах и секторах  
льно рассчитываются на фор-  
иинскита (рис. 2). Эмпириче-  
о состава нового минерала  
ула мариинскита  $\text{Be}(\text{Cr},\text{Al})_2\text{O}_4$ .

творяется при комнатной тем-  
лишь при нагревании в смеси

минерала, к сожалению, не пок-  
как пока не удалось найти  
се изученных зерна представ-  
к индивидов. Е. В. Соколовой

Таблица 4

ммы мариинскита  
iinskite

(Å)	<i>d</i> <sub>расч.</sub> (Å)	<i>hkl</i>
31	1.328	141
25	1.323	313
75	1.276	403
16	1.216	440, 800
93	1.192	042
63	1.162	133, 423, 513
23	1.125	004
20	1.118	342
98	1.096	114, 204
84	1.084	151
71	1.070	442, 802
20	1.020	450, 830, 143
24	0.924	334, 604, 650
05	0.905	651, 742
82	0.882	361
78	0.878	044, 624
57	0.857	315
53	0.854	652, 125
	0.851	262, 842

р 57.3 мм,  $\text{CuK}_\alpha$ -излучение, Ni-фильтр. По-

по результатам монокристалльной съемки определены параметры ромбической ячейки:  $a = 9.709(2)$ ,  $b = 5.612(1)$ ,  $c = 4.492(1)$  Å<sup>3</sup>,  $V = 244.8(2)$  Å<sup>3</sup>. Порошковое изучение мариинскита проводилось фотометодом в камерах Дебая-Шерера и Гинье. Результаты расчета порошкограммы приведены в табл. 4. Мариинскит кристаллизуется в ромбической сингонии, пространственная группа (по аналогии с синтетической фазой  $\text{BeCr}_2\text{O}_4$ , JCPDS-ICDD N 11-0613) *Rnma*. Параметры элементарной ячейки, вычисленные МНК по порошкограмме:  $a = 9.727(3)$ ,  $b = 5.619(1)$ ,  $c = 4.499(1)$  Å,  $V = 245.9(3)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$ . Отметим, что мы придерживаемся выбранной установки из-за удобства сравнения параметров ячейки мариинскита с параметрами хризоберилла и синтетической фазы  $\text{BeCr}_2\text{O}_4$  в установке по К. Е. Вейру и А. ван Валькенбургу (Weir, Valkenburg, 1960; Cline et al., 1979), хотя в литературе часто используются и другие альтернативные варианты ориентировки ячейки — по Дэна или по Брэггу и Брауну (Bragg, Brown, 1926). Наблюдаемые вариации параметров элементарной ячейки мариинскита по монокристалльным и порошковым данным мы склонны объяснять, учитывая неоднородность состав индивидов мариинскита (рис. 8 и табл. 3), неизбежными различиями в составе изученного зерна на монокристалльном дифрактометре и в какой-то степени усредненного материала при съемке дебаеграммы фотометодом.

Индекс сходимости состава и свойств по уравнению Гладстона—Дейла (вычисленный по усредненному составу минерала и параметрам элементарной ячейки, рассчитанные по данным порошковой рентгенограммы):  $1 - K_v/K_c = 0.019$  — отличный (excellent). Мариинскит является хромовым аналогом хризоберилла. Сравнение свойств нового минерала с синтетической фазой  $\text{BeCr}_2\text{O}_4$  и хризобериллом приведено в табл. 5.

## УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

Проблема генезиса месторождений Уральских Изумрудных копей в течение многих лет привлекает внимание исследователей и в ряде вопросов остается дискуссионной. На примере, в том числе и Изумрудных копей, А. Е. Ферсманом была разработана теория пегматитов линии скрещивания (Ферсман, 1940), в рамках которой изумру-

доносные жилы рассматриваются как продукт реакции пегматитового расплава и отделяющихся от него флюидов с ультраосновными вмещающими породами. Дальнейшее развитие и уточнение этих представлений нашло отражение в ряде работ (Власов, Кутукова, 1960; Бескин, Марин, 1998, и др.). Другие исследователи связывают происхождение изумрудноносных слюдитов в основном с процессами грейзенизации (Гинзбург, 1959; Шерстюк, 1965; Жернаков, 1976, и др.). Подробный обзор спорных вопросов генезиса месторождений Изумрудных копей приведен в работе И. И. Куприяновой (2004). При этом все исследователи сходятся на том, что формирование изумрудноносных жил напрямую связано со становлением близлежащих и окружающих гранитных интрузий (Адуйского и Малышевского массивов).

С поздним этапом развития гранитных интрузий, по всей видимости, связано образование мариинскита. Данный минерал слагает метакристаллы и их сростки в метасоматически измененных слюдитизированных хромититах. Хромититы достаточно часто отмечаются в аталькованных и серпентинизированных гипербазитах района Уральских Изумрудных копей и, по всей видимости, испытали преобразование (возможно, многократное) под действием флюидного потока от Адуйской и Малышевской интрузий. Подобный флюидный поток обычно образуется на заключительной стадии формирования гранитного массива и сопровождается становлением жильных полей пегматитов (Ферсман, 1940; Власов, Кутукова, 1960).

Мариинскит, видимо, можно считать типоморфным минералом метасоматически преобразованных хромититов, так как он образует характерные обильные включения в хромите-(II), но никогда не отмечался в первичном глиноземистом хромите-(I). Это, возможно, обусловлено тем, что более ранний высокоглиноземистый хромит является значительно более устойчивым минералом в отличие от развивающегося по нему низкоглиноземистого хромита (Спиридонов, 1997), который, выщелачиваясь [обильные пустоты в хромите-(II) показаны на рис. 3], создавал локальное обогащение флюида хромом. Наряду с преобладанием хрома над алюминием, необходимым условием кристаллизации мариинскита явился дефицит кремния в минералообразующей среде. Источником бериллия для образования мариинскита, вероятно, явились высокофтористые флюиды, а хрома — вмещающие его преобразованные хромититы.

Образцы с мариинскитом переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН, Москва (регистрационный № 4159/1) и Уральский геологический музей, Екатеринбург (№ 51158).

**Благодарности.** Авторы благодарят за предоставленный материал В. М. Выдрина, за рентгеновское монокристалльное изучение минерала Е. В. Соколову, за обсуждение и советы И. В. Пекова, А. А. Агаханова, Д. И. Белаковского, Н. Н. Еремина и Э. М. Спиридонова; Ф. Хавторна за правку английского реферата. А. Черевань за помощь в получении ИК-спектра минерала. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Минобрнауки № 16.518.11.7101.

#### Список литературы

- Авдеев И. В. О глицине и его соединениях // Горный журнал. 1842. Ч. 3. Кн. 9. С. 361—391.
- Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Очерки об уральских минералах. Екатеринбург: Изд-во УГТГА, 2004. 419 с.
- Бескин С. М., Марин Ю. Б. О полигенности редкометалльной минерализации в гранитовых рудно-магматических системах // ЗВМО. 1998. № 2. С. 41—54.
- Бидный А. С. Минералогия, возраст и генезис проявлений берилла Уральской изумрудноносной полосы / Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2012. 24 с.
- Вертушков Г. Н. Хромит и фуксит из Изумрудных копей // Тр. и материалы СГИ. Вып. 3. Свердловск; М.: ОНТИ, 1937. С. 11—13.
- Винник Д. А., Арчугов С. А., Михайлов Г. Г., Жеребцов Д. А., Дьячук В. В., Лукавый С. М. Выращивание монокристаллов александрита методом Киропулоса при резистивном нагреве // Докл. РАН. 2008. Т. 420. № 5. С. 635—636.
- Власов К. А., Кутукова Е. И. Изумрудные копи. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 252 с.

Гинзбург А. И. Пневматический редких элементов. 1959

Громалова Н. А. Растворительная талломоρφология и свойства МГУ, 2010. 24 с.

Громалова Н. А., Еремин Н. Н. Локальная структура твердых растворов. С. 398—412.

Дудка А. П., Севастьянов С. П. Кристаллография. 1985. Т. 30. С. 1—10.

Еремин Н. Н. Атомистический метод исследования твердых растворов. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 1976. С. 83—86.

Жернаков В. И. Изумрудноносные слюдитовые жилы // Докл. РАН. 1976. С. 83—86.

Жернаков В. И. Изумрудноносные слюдитовые жилы // Докл. РАН. 1976. С. 83—86.

Жернаков В. И. Изумрудноносные слюдитовые жилы // Докл. РАН. 1976. С. 83—86.

Золотухин Ф. Ф., Марин Ю. Б. Геология и минералогия Изумрудных копей // Докл. РАН. 1996. 70 с.

Золотухин Ф. Ф. Закономерности формирования пегматитовых полей в гранитных массивах // Докл. РАН. 1996. 70 с.

Золотухин Ф. Ф., Марин Ю. Б. Геология и минералогия Изумрудных копей // Докл. РАН. 1996. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

Куприянова И. И. О сподуменизации мариинскита // Докл. РАН. 2004. 70 с.

пегматитового расплава и  
цающими породами. Даль-  
о отражение в ряде работ  
ие исследователи связыва-  
м с процессами грейзениза-  
р.). Подробный обзор спор-  
копей приведен в работе  
дятся на том, что формиро-  
нием близлежащих и окру-  
го массивов).

ей видимости, связано и об-  
сталлы и их сростки в мета-  
лах. Хромититы достаточно  
нных гипербазитах района  
гитали преобразование (воз-  
от Адуйской и Малышев-  
зывается на заключительной  
ста становлением жильных  
0).

инералом метасоматически  
рные обильные включения  
земистом хромите-(I). Это,  
земистый хромит является  
звизающегося по нему низ-  
выщелачиваясь [обильные  
льное обогащение флюида  
необходимым условием кри-  
алообразующей среде. Исто-  
тно, явились высокофтори-  
ые хромититы.

ий музей им. А. Е. Ферсма-  
ский геологический музей,

ый материал В. М. Выдри-  
а Е. В. Соколову, за обсуж-  
ковского, Н. Н. Еремина и  
еферата. А. Черевань за по-  
на при финансовой поддер-

Ч. 3. Кн. 9. С. 361—391.

Екатеринбург: Изд-во УГГГА,

ерализации в гранитовых рудно-

Уральской изумрудноносной по-

и материалы СГИ. Вып. 3. Свер-

ук В. В., Лукавий С. М. Выращи-  
вном нагреве // Докл. РАН. 2008.

емии наук СССР, 1960. 252 с.

*Гинзбург А. И.* Пневматолито-гидротермальные месторождения бериллия // Геология месторожде-  
ний редких элементов. 1959. Вып. 4. С. 4—13.

*Громалова Н. А.* Раствор-расплавная кристаллизация и комплексное исследование состава, кри-  
сталломорфологии и свойств хризоберилла и александрита. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.:  
МГУ, 2010. 24 с.

*Громалова Н. А., Еремин Н. Н., Урусов В. С.* Атомистическое моделирование свойств смешения и  
локальной структуры твердых растворов  $\text{Be}(\text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}^{III})_2\text{O}_4$  // Физика и химия стекла. 2011. Т. 37. № 3.  
С. 398—412.

*Дудка А. П., Севастьянов Б. К., Симонов В. И.* Уточнение атомной структуры александрита // Кри-  
сталлография. 1985. Т. 30. С. 605—609.

*Еремин Н. Н.* Атомистическое моделирование кристаллических структур минералов и дефектов и  
твердых растворов. Автореф. дис. ... док. хим. наук. М.: МГУ, 2009. 46 с.

*Жернаков В. И.* Типоморфные особенности флогопита из изумрудноносных участков апогиперба-  
зитовых слюдитовых жил // Минералогия и петрография Урала. Вып. 124. Свердловск: Изд-во СГИ,  
1976. С. 83—86.

*Жернаков В. И.* Изумрудные копи. Изумруд. Александрит. Фенакит. Онтогенез и филогения. Екате-  
ринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 200 с.

*Золотухин Ф. Ф.* Мариинское (Малышевское) месторождение изумруда, Средний Урал. СПб.:  
Изд-во СПбГУ, 1996. 70 с.

*Золотухин Ф. Ф.* Закономерности распределения изумрудов в Малышевском месторождении  
(Россия) // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 5. С. 437—448.

*Краснобаев А. А., Феритатер Г. Б., Беа Ф., Монтеро П.* Полигенные цирконы Адуйского батолита  
(Средний Урал) // Докл. РАН. 2006. Т. 410. № 2. С. 244—250.

*Куприянова И. И.* О спорных вопросах генезиса Малышевского (Мариинского) бериллий-изум-  
рудного месторождения (Средний Урал, Россия) / Материалы Уральской летней минералогической  
школы-2003. Екатеринбург, 2004. С. 37—58.

*Поваренных А. С.* Связь ИК-спектров минералов с кристаллохимическими факторами // Минер. сб.  
1970. № 24. И. 1. С. 12—29.

*Попов М. П., Жернаков В. И., Золотухин Ф. Ф., Самсонов А. В.* Уральские Изумрудные копи. Исто-  
рия изучения, геологический очерк, минералогический кадастр, библиография. 2-е изд. Екате-  
ринбург: УГГГА, 2008. 76 с.

*Плаксенко А. Н.* Типоморфизм аксессуарных хромшпинелидов ультрамафит-мафитовых магмати-  
ческих формаций. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1989. 224 с.

*Плюснина И. И.* Инфракрасные спектры поглощения бериллиевых минералов // Геохимия. 1963.  
№ 2. С. 158—173.

*Рабаданов М. Х., Дудка А. П.* К вопросу о локализации примесных ионов хрома в александрите //  
Кристаллография. 1998. Т. 43. С. 1049—1052.

*Сахнов А. А.* Анализ некоторых типоморфных особенностей хромшпинелидов и хромовых руд //  
Разведка и охрана недр. 2008. № 8. С. 21—25.

*Смирнов В. Н., Иванов К. С., Краснобаев А. А., Бушляков И. Н., Калеганов Б. А.* Результаты К-Аг  
датирования Адуйского гранитного массива (восточный склон Среднего Урала) // Литосфера. 2006.  
№ 2. С. 148—156.

*Стиридинов Э. М., Барсукова Н. С., Бакиев И. А., Плетнёв П. А., Середкин М. В.* Процессы пре-  
образования первичных хромшпинелидов гипербазитов Баженовского, Карабашского, Шабровского,  
Сарановского, Нуралинского массивов, мелких тел Берёзовского и Гумбейского месторождений Ура-  
ла / Уральская летняя минералогическая Школа-97. Екатеринбург: УГГГА, 1997. С. 23—27.

*Урусов В. С., Громалова Н. А., Вяткин С. В., Русаков В. С., Мальцев В. В., Еремин Н. Н.* Иссле-  
дование методами ЭПР и мессбауэровской спектроскопии структурного и валентного состояния  
атомов хрома и железа в хризоберилле и александрите // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2011. № 2.  
С. 29—33.

*Ферсман А. Е.* Изумруды Урала // Природа. 1913. Декабрь. С. 91—93.

*Ферсман А. Е.* Драгоценные и цветные камни России. Монографии КЕПС. Петроград: 4-я Гос. ти-  
пограф., 1920. 420 с.

*Ферсман А. Е.* Архивные материалы по Изумрудным копиям / Изумрудные копии на Урале. Сб. ста-  
тей и материалов. Материалы КЕПС. Вып. 46. Петроград: РАН, 1923. С. 5—22.

*Ферсман А. Е.* Пегматиты. Т. 1. Гранитные пегматиты. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 712 с.

*Феритатер Г. Б., Гердес А., Смирнов В. Н.* Возраст и история формирования Адуйского гранит-  
ного массива // Ежегодник-2002. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 146—150.

*Шерстук А. И.* Слюдитовые комплексы и их классификация // ЗВМО. 1965. Вып. 1. С. 62—70.

*Шубин П. И.* Отчет о действиях Екатеринбургской лаборатории за сентябрьскую треть 1842 года //  
Горн. журн. 1843. Кн. III. С. 269—296.

*Basilio M. S., Pedrosa-Soares A. C., Jordt-Evangelista H.* Depositos de alexandrita de Malacacheta, Mi-  
nas Gerais // Geonomos. 2000. Vol. 8(1). P. 47—54.

- Bragg W. L., Brown G. B. The crystalline structure of chrysoberyl // Proc. R. Soc. Lond. A. 1926. Vol. 110. N 573. P. 34—63.
- Bukin G. V., Matrosov V. N., Orechova V. P., Remigailo Yu. L., Sevastyanov B. K., Suomin E. G., Solntsev V. P., Tsvetkov E. G. Growth of alexandrite crystals and investigation of their properties // J. Cryst. Growth. 1981. Vol. 52. P. 537—541.
- Clark C. M., Hawthorne F. C., Ottolini L. Fluor-dravite,  $\text{NaMg}_3\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{F}$ , a new mineral of the tourmaline group from the Crabtree emerald mine, Mitchell County, North Carolina: description and crystal structure // Canad. Miner. 2011. Vol. 49. P. 57—62.
- Cline C. F., Morris R. C., Dutoit M., Harget P. J. Physical properties of  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$  single crystals // J. Mater. Sci. 1979. Vol. 14. P. 1329—1344.
- Downes P. J., Bevan W. R. Chrysoberyl, beryl and zirconian spinel mineralization in granulite-facies Archaean rocks at Dowerin, Western Australia // Miner. Mag. 2002. Vol. 66. P. 985—1002.
- Farrell E. F., Fang J. H., Hewnham R. E. Refinement of the chrysoberyl structure // Amer. Miner. 1963. Vol. 48. P. 804—810.
- Fersman A. Über das färbende Pigment der Smaragde // Докл. АН СССР-А. 1926. № 2. С. 24—25 (нем.).
- Franz G., Gilg H. A., Grundmann G., Morteani G. Metasomatism at a granitic pegmatite-dunite contact in Galicia: the Franqueira occurrence of chrysoberyl (alexandrite), emerald and phenakite: discussion // Canad. Miner. 1996. Vol. 34. P. 1329—1331.
- Geology and mineral resources of the states of India. Part IX — Kerala. Geological Survey of India. Miscellaneous Publication N 30. 2005. 93 p.
- Gübelin E. Alexandrite from Lake Manyara, Tanzania // Gems & Gemology. 1976. Vol. 15. N 7. P. 203—209.
- Henry D., Novák M., Hawthorne F. C., Ertl A., Dutrow B. L., Uher P., Pezzotta F. Nomenclature of the tourmaline supergroup minerals // Amer. Miner. 2011. Vol. 96. P. 895—913.
- Hofmeister A. M., Hoering T. C., Virgo D. Vibrational Spectroscopy of beryllium aluminosilicates: heat capacity calculations from band assignments // Phys. Chem. Miner. 1987. Vol. 14. P. 205—224.
- Mallard M. Er. Sur quelques substances cristallisées préparées par Ebelmen // Bul. Soc. Franc. Miner. 1888. N 11. N 8. P. 305—311.
- Merino E., Villaseca C., Pérez-Soba C., Orejana D. First occurrence of gahnite and chrysoberyl in an Iberian Hercynian Pluton: the Belvis de Monroy Granite (NE Cáceres, Spain) // Revista Soc. Españ. Mineral. 2010. Vol. 13. N 10. P. 159—160.
- Newnham R., Santoro R., Pearson J., Jansen C. Ordering of Fe and Cr in chrysoberyl // Amer. Miner. 1964. Vol. 49. P. 427—430.
- Von Pott H. A. G. Geschichte und Wissenschaftliche beschäftigungen der in St. Petersburg gestifteten Russisch-Kaiserlichen Gesellschaft für die Gessammte Mineralogie von 1817 bis 1842 // Schriften der in St.-Petersburg gestifteten Russisch-Kaiserlichen Gesellschaft für die Gessammte Mineralogie. 1842. Bd I. Abt I. P. 116—129.
- Povarennykh A. S. The use of infrared spectra for the determination of minerals // Amer. Miner. 1978. Vol. 63. P. 956—959.
- Rager H., Bakhshand-Khiri A., Schmetzer K. Investigation of the intracrystalline  $\text{Cr}^{3+}$  distribution in natural and synthetic alexandrites // N. Jb. Miner. Mh. 1998. Vol. 2. P. 545—557.
- Rose G. IV. Beschreibung einiger neuen Mineralien des Urals. 7) Ueber den Chrysoberyll von Ural // Ann. Phys. und Chem. 1839. Vol. 48. P. 570—573.
- Santoro R. P., Newnham R. E. Magnetic properties of chromium chrysoberyl // J. Amer. Ceram. Soc. 1964. Vol. 47. N 10. P. 491—492.
- Scalvi R. M. F., Li M. S., Scalvi L. V. A. Thermal annealing-induced electric dipole relaxation in natural alexandrite // Phys. Chem. Miner. 2005. Vol. 31. P. 733—737.
- Schmetzer K. Russian alexandrites. Stuttgart: Schweizbart Science Publishers, 2010. 141 p.
- Schmetzer K., Bank H., Gübelin E. The alexandrite effect in minerals: Chrysoberyl, Garnet, Corundum, Fluorite // N. Jb. Miner. Abn. 1980. Vol. 138(2). P. 147—164.
- Schmetzer K., Stockmayer S., Stockmayer V., Malsy A.-K. Alexandrites from the Novello alexandrite-emerald deposit, Masvingo District, Zimbabwe // Austral. Gemmologist. 2011. Vol. 24. N 6. P. 133—147.
- Soman K., Nair N. G. K. Genesis of chrysoberyl in the pegmatites of southern Kerala, India // Miner. Mag. 1985. Vol. 49. P. 733—738.
- Trinidade N. M., Scalvi R. M. F., Scalvi L. V. A.  $\text{Cr}^{3+}$  distribution in  $\text{Al}_1$  and  $\text{Al}_2$  sites of alexandrite ( $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ :  $\text{Cr}^{3+}$ ) induced by annealing, investigated by optical spectroscopy // Energy and Power Engineering. 2010. Febr. P. 18—24.
- Waldschmidt W. A., Gaines R. V. Occurrence of chrysoberyl near Golden, Colorado // Amer. Miner. 1939. Vol. 24. P. 267—271.
- Weir C. E., van Valkenburg A. Studies of beryllium chromite and other beryllia compounds with  $\text{R}_2\text{O}_3$  oxides // J. Res. Nat. Bur. Stand.-A. Phys. and Chem. 1960. Vol. 64A. P. 103—106.

Поступила в редакцию  
19 марта 2012 г.

Институт геологии  
и геохимии

## ИНТЕРМЕД

**1. Икосаэдрит** (icosahedrite) — минерал из группы икосаэдра. Зерна до 100 мкм. Изл. неровн. Изотропн. при 652,3 нм. Хим. (м. з., ЕИ) Ca 0,01, Zn 0,01, Cl 0,01, (31111), 3,24(20)(220022)(622044), 1,238(30)(604064) сия), со шпинелью, диопсидом, палитом и фазой состава  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на дифракционной картине. Bindi L., Steinhardt P. A.

**2. Ниснит** (nisnite) — минерал до прямоугольных табличек. Истрированы // их удлинение (выч.).  $R_{\text{ср.}}$  на воздухе (% средн. из 5 опр.): Ni 57,88(2), 2,639(22)(110), 2,155(100)(110) рудника Джеффери, Асбесто-Утв. КНМ ММА.

Rowe R., Grice J. D. 1964. P. 651 (англ.).

**3. Тёрноосит** (törnroosite) — минерал изомергитом. Ангдральном. Бл. метал. Тв. 5. Микрошечных николях — изотропн. при 640, 59,6 при 700 нм. Хим. (м. з., ЕИ) Pt 8,77, Te 13,15, сумма 99,48(100)(440), 1,862(13)(622), 1,862(13)(622). В тяжелой фракции отложился сплавом Pt-Fe, куперитом, бисмитом II и мн. др. Предложен в честь финского минеролога Коюнен К. К., МсД (1964). P. 1643 (англ.).

**4. Анаурипигмент** (anauripigment) — минерал.  $a = 78,152^\circ$ ,  $\beta = 75,817^\circ$ ,  $\gamma = 81,152^\circ$ . Друзы-корочки клинообразные. {021} и {021} (дан чертеж). Изл. перл. на пл. сп. Тв. ~ 1,5. Идентифицируется. Двухосный. Дан рамановский спектр. Рентгенограмма (интенс. л.) 2,880(75)(201, 022, 121, 023), гидротермальный минерал (Перу), с дюфренузитом, м