

УДК 549:553 (571.51)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПИРОХЛОРЕ ТАТАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ, РОССИЯ)

**В.И. Попова¹, П.С. Козлов², А.В. Лапин³, В.А. Попов¹, В.А. Котляров¹,
Л.А. Паутов⁴, М.А. Рассомахин⁵, В.В. Шиловских⁶, И.А. Блинов¹**

¹*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс; popov@mineralogy.ru*

²*Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург; geoco2012@yandex.ru*

³*Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, г. Москва*

⁴*Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, г. Москва*

⁵*Ильменский государственный заповедник УрО РАН, г. Миасс*

⁶*Научный парк СПбГУ, ресурсный центр «Геомодель», г. Санкт-Петербург*

NEW DATA ON PYROCHLORE FROM THE TATARKA DEPOSIT (YENISEI RIDGE, RUSSIA)

**V.I. Popova¹, P.S. Kozlov², A.V. Lapin³, V.A. Popov¹, V.A. Kotlyarov¹,
L.A. Pautov⁴, M.A. Rassomakhin⁵, V.V. Shilovskikh⁶, I.A. Blinov¹**

¹*Institute of Mineralogy UB RAS, Miass; popov@mineralogy.ru;*

²*Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Yekaterinburg*

³*Institute of Mineralogy, Geochemistry and Cristal Chemistry of Rare Elements, Moscow*

⁴*Mineralogical Museum of the name A.E. Fersman, Moscow*

⁵*Ilmeny State Reserve UB RAS, Miass; ⁶RC «Geomodel», St-Petersburg*

В рудах Татарского месторождения исследованы крупные кристаллы пирохлора (до 6 см), зональность их состава и взаимоотношения их с ассоциирующими минералами. Пирохлоры кристаллизовались совместно с кальцитом, магнетитом, цирконом, фтормагнезиоарфведсо-нитом и некоторыми другими минералами. Центральная часть кристаллов образована фтор-кальциопирохлором, который на периферии кристаллов чередуется с зонами гидроксикаль-циопирохлора. С периферии кристаллов и вдоль трещин пирохлоры изменены с заметным дефицитом в позиции А. Дополнительно к известным в месторождении минералам выявлены монацит-(Ce), эшинит-(Y), нозеан, натролит, золото, сидерит, анкерит, Fe-содержащий алю-мосиликат шамозит, каолинит и иллит.

Табл. 2. Илл. 12. Библ. 9.

Ключевые слова: фторкальциопирохлор, зональность состава, ассоциации минералов, карбонатит-пегматит, карбонатиты, Татарское месторождение, Енисейский кряж, Россия.

Large pyrochlore crystals (up to 6 cm) from ores of the Tatarka deposit are studied, as well as their compositional zoning and relations with associated minerals. Pyrochlore was crystallized along with calcite, magnetite, fluoromagnesioarfvedsonite, zircon and some other minerals. The central part of the pyrochlore crystals corresponds to fluorcalciopyrochlore, which alternates with Sr-bearing hydroxycalciopyrochlore zones in the periphery. Pyrochlore crystals from the periphery and along the cracks were altered with noticeable deficit in position A. In addition to the minerals known at the deposit, monazite-(Ce), aeschnyite-(Y), nosean, natrolite, gold, siderite, ankerite, Fe-bearing aluminosilicate – chamosite, kaolinite, illite are found.

Figures 12. Tables. 2. References 9.

Key words: fluorcalciopyrochlore, compositional zoning, mineral assemblages, carbonatite-pegmatite, carbonatites, Tatarka deposit, Yenisei Ridge, Russia.

Введение

Татарское апатит-пироксоловое месторождение открыто В.Ю. Забродиным и А.А. Малышевым в 1973 г. [8] на площади, выявленной в 1937 г. при наземной проверке локальных магнитных аномалий [1] в верховьях рек Татарки и Бол. Пенченги Красноярского края, в 25 км северо-западнее пос. Партизанск и в 85 км от пос. Мотыгино. Месторождение ранее изучалось В.Ю. Забродиным, А.А. Малышевым, А.В. Лапиным, В.В. Плошко, Б.А. Скорodelовым, А.П. Лягушкиным, Н.В. Самойловой и другими исследователями [4–6; 8 и др.].

В результате геологоразведочных и исследовательских работ охарактеризованы геологическое строение района, временной интервал формирования пород и руд месторождения, петрография и минералогия [2–6, 8; и др.]. Месторождение характерно находками крупных кристаллов пироксолов, магнетита и флогопита. В период 1986–2011 гг. карьерами частично обрабатывались пироксолосодержащие руды (рис. 1, 2), с 2005 г. – преимущественно флогопитовые породы.

Характеристика химического и минерального состава карбонатитов и ассоциирующих с ними щелочных пород (фенитов) приведена ранее, однако в открытой печати пироксолов был охарактеризован весьма кратко [1; 5; 6; и др.]. В предлагаемой статье нами излагаются новые данные о зональности состава и форме кристаллов пироксолов и взаимоотношениях его с ассоциирующими минералами.

Материалы и методы исследования минералов

В работе использованы 18-ти кристаллов пироксолов величиной от 5 мм до 8 см, а также 8 образцов магнетита и единичных флогопита, доломита, карбонатитов кальцитовых и кальцит-доломитовых и карбонат-апатитового агрегата, переданные для исследования в Институт минералогии УрО РАН сотрудниками ИМГРЭ (А.В. Лапиным с коллегами, Москва), отобранные на месторождении в 1980-х годах, кристаллы пироксолов из коллекции А.В. Донскова (Миасс), кристалл пироксолов около 8 см из коллекции С.В. Колисниченко (Челябинск), а также образцы пироксолов, магнетита и вмещающих пород из коллекции П.С. Козлова (Екатеринбург).

Пироксолов и сопутствующие минералы исследованы для детализации взаимоотношений минералов с применением микроскопов МБС-1 и РЭММА-202М в Институте минералогии УрО РАН. Состав минералов определен микронзондовым методом (228 анализов) в Институте минералогии УрО РАН (РЭММА-202М, аналитик В.А. Котляров; Vega3 TESCAN, аналитик И.А. Блинов), в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана (Superprobe JСХА-733-JEOL, аналитик Л.А. Паутов), в Институте геологии и геохимии УрО РАН (Cameca SX-100, аналитик Д.А. Замятин; JSM-6390LV с ЭДС INCA Energy 450, аналитик И.А. Готтман) и в ресурсном центре «Геомодель» СПбГУ (РЭМ HITACHI S-3400N, аналитик В.В. Шиловских). В зонах крупных кристаллов пироксолов относительные содержания ряда элементов исследованы в Ильменском заповеднике (Mistral M1 фирмы Bruker Nano GmbH, аналитик М.А. Рассомахин).

Краткая характеристика Татарского месторождения

Татарское месторождение относится к типу линейных зон карбонатитов и щелочных метасоматитов (фенитов). Оно локализовано в субмеридиональной зоне Панимбинско-Мурожнинского разлома – ветви Татарского глубинного разлома, отделяющего приподнятый блок Центрального антиклинория Енисейского кряжа (с гранитоидами в западной его части) от комплекса приразломных щелочных метасоматитов и карбонатитов со сланцами и кальцитовыми мраморами пенченгинской свиты раннего протерозоя и метабазами индыглинского комплекса [6]. Среди пород фенит-карбонатитового комплекса отмечались и дайкообразные тела щелочных лампрофиров с пироксоловой минерализацией [4]. В зоне разлома карбонатиты и сопровождающие их щелочные метасоматиты прослежены на протяжении более 22 км при ширине до 2–2.5 км [3; 6; 8]. Карбонатиты образуют субсогласные и, реже, косесекущие пластообразные тела длиной до 2.5 км и мощностью до 120 м, а также серии более мелких кулисообразных жил (рис. 3). Формирование рудоносной зоны связано с байкальской тектоно-магматической эпохой в период около 660–640 млн лет назад по К-Аг методу [6], что близко данным Sm-Nd изохронного метода – 672 млн лет [2]. В Центрально-Ангарском тер-

¹⁾ <http://mgeocs.ru/docs/geologiya-krasnoyarskogo-kraja/mestorozhdeniya-kk/tatarskoe-mestorozhdenie.html>

Рис. 1. Космоснимок участка Татарского месторождения (Google, 2007).

Fig. 1. Space image of the Tatarka deposit (Google, 2007).

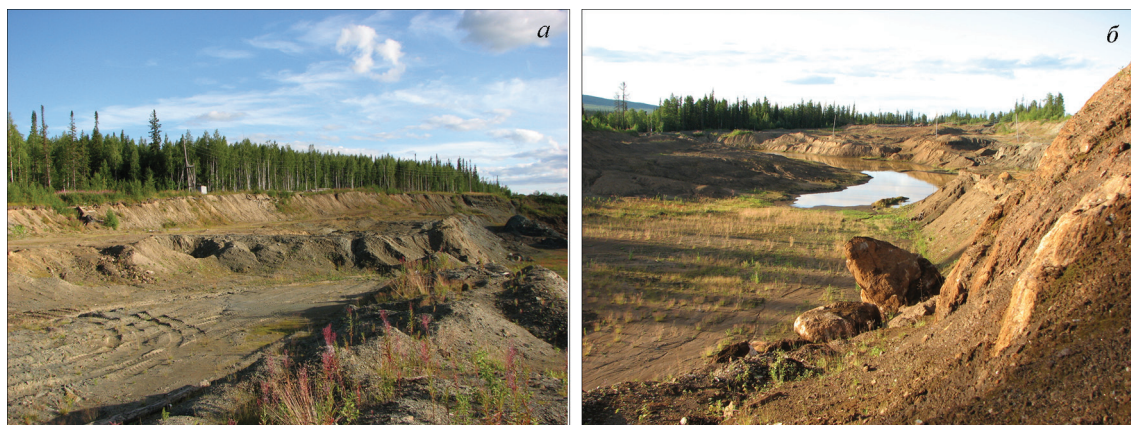


Рис. 2. Вид карьеров Первой рудной зоны Татарского месторождения в 2010–2011 гг. Фото: П.С. Козлов.

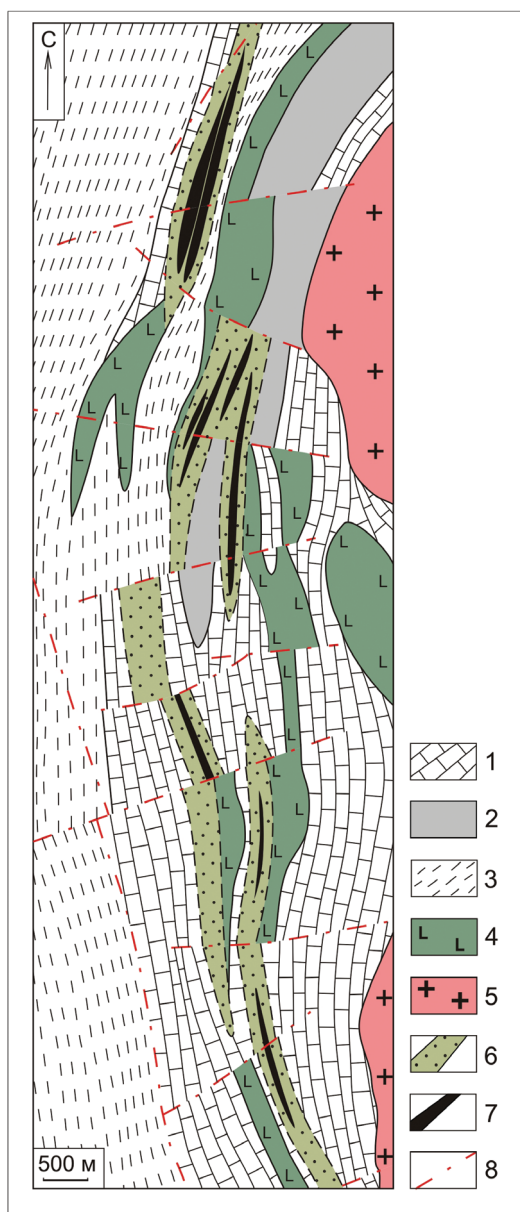
Fig. 2. View of quarries of the first ore zone of the Tatarka deposit in 2010–2011. Photo: P.S. Kozlov.

рейне Центрального антиклинория известны ещё несколько проявлений щелочного и карбонатитового магматизма; так, несколько южнее Татарского месторождения расположен Среднетатарский ийолит-фойяитовый массив [3].

На месторождении выделяется 8 рудных зон (с севера на юг): Первая, Параллельная, Вторая, Вос-

точная, Центральная-Берёзовская, Правобережная, Южнооборотовская и Усть-Индыплинская [2]. С поверхности до глубины 150–250 м развиты площадные коры химического гипергенного изменения («выветривания»), к которым приурочена основная часть рудных тел [1]. В рудных зонах околтурены 13 тел первичных фосфатно-ниобиевых руд

²⁾ Малышев А.А., Буздалин А.П., Муромцева Л.А. и др. Зернистые руды коры выветривания Первой рудной зоны Татарского ниобиевого месторождения. ГПП «Красноярскгеология», 1993ф. 336 с.



и около 80 рудных тел в коре выветривания. Разведанная протяжённость их по простиранию 70–2450 м, на глубину – 20–570 м при мощности от 5 до 33 м. Рудные тела коры выветривания с пережимами, раздувами и флексурными изгибами прослежены по простиранию на 36–2045 м, а по падению – до 90 м при мощности от 3 до 109 м и на 70–87 % представлены песчанистой фракцией (Первая, Параллельная, Правобережная и Южно-оборотовская рудные зоны), а в рудах Второй, Восточной и Центральной-Берёзовской зон до 60–80 % глинистого материала. Первичные руды выявлены только в Первой рудной зоне (рис. 4) и залегают субсогласно с вмещающими породами в виде пласто- и линзообразных тел с крутым падением на

Рис. 3. Геологическая схема Татарской карбонатитовой зоны [6].

1 – мраморы кальцитовые и доломитовые, 2 – «песчаники» кварцитовидные, 3 – сланцы мусковит-биотитовые, 4 – амфиболиты, 5 – граниты, 6 – щелочные метасоматиты, 7 – карбонатиты доломитовые, 8 – разрывные нарушения.

Fig. 3. Geological scheme of the Tatarka carbonatite zone [6].

1 – calcite and dolomite marbles, 2 – quartzite-like sandstones, 3 – muscovite-biotite schists, 4 – amphibolites, 5 – granites, 6 – alkali metasomatites, 7 – dolomite carbonatites, 8 – faults.

запад. В первичных рудах содержание Nb_2O_5 составляет 0.07–0.57 мас. %, в окисленных – от 0.1 до 5 %, в среднем по месторождению – Nb_2O_5 0.26–0.74 мас. %, P_2O_5 8.73 %, сопутствующие – TR_2O_3 , Ta_2O_5 , Sr, Rb, Y, Hf, Ge, Sc. С корами выветривания Татарского месторождения связаны значительные запасы вермикулита [1]. В зернистых рудах доля разных типов ниобиевых руд составляла (в % от общих балансовых запасов): пирохлоровых – 67.2, колумбит-пирохлоровых – 21.7, стронциопирохлоровых – 11.1 [2].

В 2001 г. на месторождении была пущена фабрика черного обогащения пирохлора ОАО «Стальмаг компании «Северсталь», и в течение 2001 г. добыто 130 тыс. т руды, но из-за технологических проблем в 2011 г. добыча пирохлора была прекращена.

Минеральные ассоциации пирохлора в карбонатитах и щелочных метасоматитах Татарского месторождения

К настоящему времени в породах и рудах Татарского месторождения выявлено 48 минералов ([6], с нашими дополнениями; табл. 1). Пирохлор в разных количествах отмечен практически во всех породах – в доломитовых карбонатитах (пегматоидных, трахитоидных, брекчированных), карбонатитоидах (эгирин-магнезиоарфведсонит-кальцитовых и рихтерит-тетраферрифлогопит-доломитовых), а также в разных щелочных карбонатсодержащих фенитах (флогопитовых, магнезиоарфведсонит-флогопитовых, магнезиоарфведсонит-альбит-

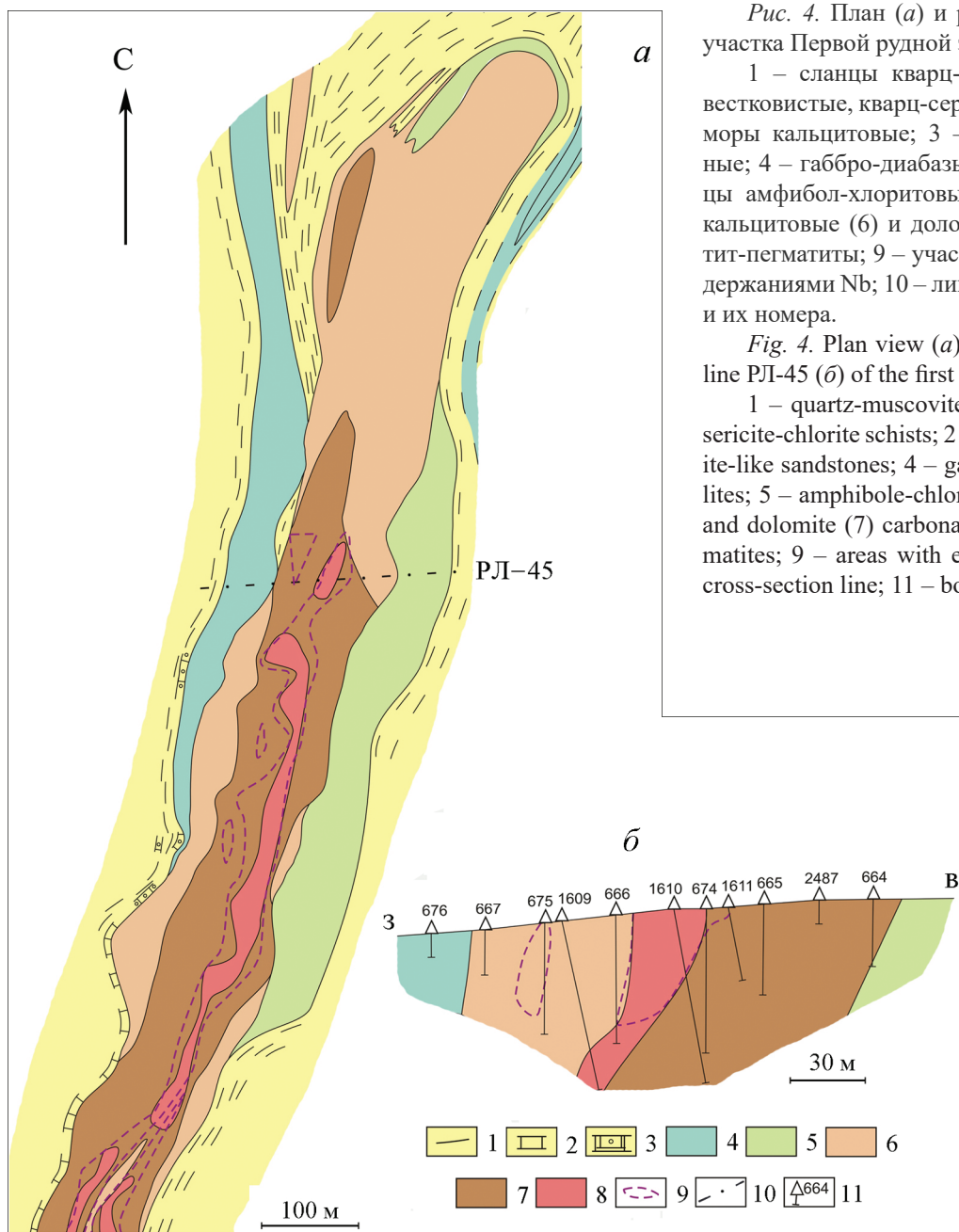


Рис. 4. План (а) и разрез по линии РЛ-45 (б) участка Первой рудной зоны [2].

1 – сланцы кварц-мусковит-биотитовые, известковистые, кварц-серицит-хлоритовые; 2 – мраморы кальцитовые; 3 – песчаники кварцитовидные; 4 – габбро-диабазы и амфиболиты; 5 – сланцы амфибол-хлоритовые; 6–7 – карбонатитоиды кальцитовые (6) и доломитовые (7); 8 – карбонатит-пегматиты; 9 – участки с промышленными содержаниями Nb; 10 – линия разреза; 11 – скважины и их номера.

Fig. 4. Plan view (a) and cross-section along the line PJ-45 (b) of the first ore zone [2].

1 – quartz-muscovite-biotite, calcareous, quartz-sericite-chlorite schists; 2 – calcite marbles; 3 – quartzite-like sandstones; 4 – gabbro-diabases and amphibolites; 5 – amphibole-chlorite schists; 6–7 – calcite (6) and dolomite (7) carbonatitoids; 8 – carbonatite-pegmatites; 9 – areas with economic Nb contents; 10 – cross-section line; 11 – boreholes and their numbers.

флогопитовых, магнезиоарфведсонит-альбитовых, микроклин-альбит-магнезиоарфведсонитовых, флогопит-альбитовых метасоматитах) и в альбититах (табл. 1). Основные минералы руд – пироксид, колумбит, франколит, фторапатит, ферсмит, рутил («ильменорутил»), вермикулит, гидроксиды железа и марганца.

При исследовании кристаллов пироксидов, образцов магнетита, флогопита, карбонатов и карбонат-апатитового агрегата с редкими мелкими «иглами» голубовато-зелёного амфибола были вы-

явлены возрастные взаимоотношения минералов. Препарирование поверхностей между минералами в их срастаниях позволило обнаружить их индукционный характер, т. е. определить частично-одновременную или последовательную кристаллизацию ведущих и аксессуарных минералов.

Крупные и весьма крупные индивиды карбонатов не являются результатом перекристаллизации, поскольку покрыты индукционными поверхностями одновременного роста друг с другом и с ассоциирующими минералами – пироксидом, магнетитом,

Таблица 1

**Распространённость минералов в карбонатитах и щелочных метасоматитах
Татарского месторождения**

Table 1

Minerals of carbonatites and alkali metasomatites of the Tatarka deposit

Минералы	Типы пород									
	1	1a	2	3	4	5	6	7	8	9
Доломит и доломит-(Fe)	++	+++	+++	+++	++	++	+	+	++	+++
Кальцит	+++	++	+	++	+	+	++	++	+++	++
Сидерит	+	+	+							
Анкерит	+		+							
Формазнезиоарфведсонит	++		+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	
Фторрихтерит									+	+++
Эгирин	+								++	
Флогопит	+++	+	+++	+++	+++	+++	++	+++	++	
Тетраферрифлогопит			+							+++
Вермикулит			+	+	+	+		+		+
Глауконит			+	+						
Каолинит		+	+	+						
Иллит										
Шамозит			+	+						
Кварц		+		+	+		+		+	+
Альбит	+			++			+++	+++	+++	+++
Микроклин	+		+						+	
Мусковит	+		+						+	
Турмалин?			+							
Флюорит	+	+	+	+						
Нагролит	+			+						
Нозеан	+		+							
Диаспор	+									
Фторапатит	+++	++	+++	+++	++	+++	++	++	++	++
Монацит-(Ce)	+	+	+	+				+		
Пироклор-(CaF)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	++	+	+
Кенобариопироклор-(OH)	+	+	+	+	+	+				
Кеностронциопироклор-(OH)	+	+	+	+	+	+				
Колумбит-(Fe)	++	++	++	+		+		+		
Эшинит-(Y)	+									
Ферсмит		+	+	+		+				
Циркон	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Титанит	+						+	+	+	
Рутил (в т.ч. Nb-содержащий)	+	+	+	+	+	+	++		++	
Брукит						+				
Анатаз						+				
Ильменит	+	+	+	+		+	+	++	+	
Магнетит	+++	+	++	++	++	++	+	+	+	+
Гематит (мартит)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Гётит (лимонит)	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Молибденит	+			+			+		+	+
Пирит	+	+	+	+				+		
Пирротин		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Халькопирит	+	+	+	+						
Борнит	+			+						
Галенит	+	+	+	+		+				
Сфалерит	+	+	+	+						
Золото	+									

Примечание к табл. 1. 1 – карбонатит-пегматиты; 2–4 – карбонатиты доломитовые пегматоидные лейкократовые (2), трахитоидные мезо- и меланократовые (3) и брекчированные (4); 5–8 – метасоматиты флогопитовые (5), магнезиоарфведсонит-флогопитовые (6), магнезиоарфведсонит-полевошпатовые (7) и магнезиоарфведсонит-альбит-флогопитовые (8); 9, 10 – карбонатитоиды эгирин-магнезиоарфведсонит-кальцитовые (9) и тетрафлогопит-фторрихтерит-доломитовые (10). Минералы главные (+++), второстепенные (++) , акцессорные (+); доломит-(Fe) – железосодержащий. Минералы, выделенные полужирным шрифтом, обнаружены на месторождении впервые.

Note. 1 – carbonatite-pegmatites; 2–4 – pegmatoid leucocratic (2), trachytic meso-melanocratic (3) and brecciated (4) dolomite carbonatites; 5–8 – metasomatites: phlogopite (5), magnesioarfvedsonite-phlogopite (6), magnesioarfvedsonite-feldspar (7), magnesioarfvedsonite-albite-phlogopite (8); 9, 10 – aegirine-magnesioarfvedsonite-calcite (9) and tetraplogopite-ferriodolomite (10) carbonatitoids. Major (+++), abundant (++) , and accessory (+) minerals. Minerals typed in bold are found for the first time at the deposit.

апатитом, амфиболом, полевыми шпатами, цирконом и другими. Их анатомическое устройство соответствует прямой кристаллизации (зональность, двойники, скручивание, расщепление), а тип поверхности не соответствует поверхности полиэдров перекристаллизации. В кристаллах доломита есть ориентированные (синтаксические) вростки кальцита (3–6 % объёма); апатит, рутил и пирит встречаются в доломите как неориентированные вростки.

Индивиды магнетита достигали 40 см по ребру октаэдра (рис. 5а), а пирохлора, доломита и флогопита – до 10 см; прочие минералы более мелкие. В магнетите встречаются вростки магнезиоарфведсонита, пирохлора, фторапатита, ильменита, флогопита (см. рис. 5б, в, д), а также рутила, колумбита-(Fe), монацита-(Ce), эшинита-(Y) и золота. Изученные кристаллы магнетита почти однородны за небольшим исключением – в некоторых ранних полосах деформации встречаются весьма мелкие пластинки гематита – распадовые по {111} магнетита (см. рис. 5е).

Срастания пирохлора с магнетитом (рис. 6а) и полевыми шпатами – микроклином и альбитом (см. рис. 6б) – имеют участки индукционных поверхностей сокристаллизации с пирохлором. В пирохлоре встречаются вростки других минералов – циркона (см. рис. 6в), ильменита, рутила Nb-содержащего, эшинита-(Y), колумбита-(Fe), ферсмита, кальцита, магнезиоарфведсонита (см. рис. 6г), эгирина, флогопита, нозеана. Отмечались редкие двойники пирохлора по (111) [3].

Большое генетическое значение имеют мелкие многочисленные вростки голубовато-зелёного магнезиоарфведсонита в периферических зонах крупных кристаллов магнетита и пирохлора. Препарированием поверхностей таких зёрен амфибола

выявляются участки индукционных поверхностей с магнетитом и пирохлором преимущественно на торцовых участках столчатых кристаллов амфибола. Вместе с амфиболом кристаллизовались более редкие ильменит, флогопит и пирит. Кристаллы и агрегаты амфибола в пирохлоре нередко линейно ориентированы, но встречаются и со случайной ориентировкой, а иногда фиксируют и вихревые «потoki»; пластические и хрупкие деформации включённых в пирохлор кристаллов амфибола не отмечены (в отличие от амфибола в фенитах и карбонатитах). Практически крупные кристаллы магнетита и пирохлора в поздних зонах роста зафиксировали положение иголок амфибола соответственно их движению и распределению в потоке карбонатитовой магмы перед окончательным её затвердеванием.

В лейкократовом доломит-кальцитовом карбонатите пегматоидной структуры с относительно крупными зёрнами доломита (до 1–2.5 см) и мелкокристаллическим кальцитовым матриксом встречаются вростки магнетита до 2 см, пирохлора до 1.5 см и мелкие зёрна белого фторапатита (рис. 7). В боковом сколе образца площадью ~ 10 см² выявлено 10 зёрен светло-коричневого полупрозрачного пирохлора овоидной формы с участками ступенчатых поверхностей в результате сокристаллизации с кальцитом и фторапатитом (см. врезку на рис. 7).

В карбонатитах отмечались своеобразные «прослой», содержащие до 80 % объёма фторапатита [4]. Один из подобных образцов показан на рисунке 8. На индивидах апатита почти нет участков с идиоморфными поверхностями – преобладают индукционные в результате срастаний с соседними минералами.

³⁾ http://klopotov.narod.ru/mineral\galery/oxides/pirochl_3.htm

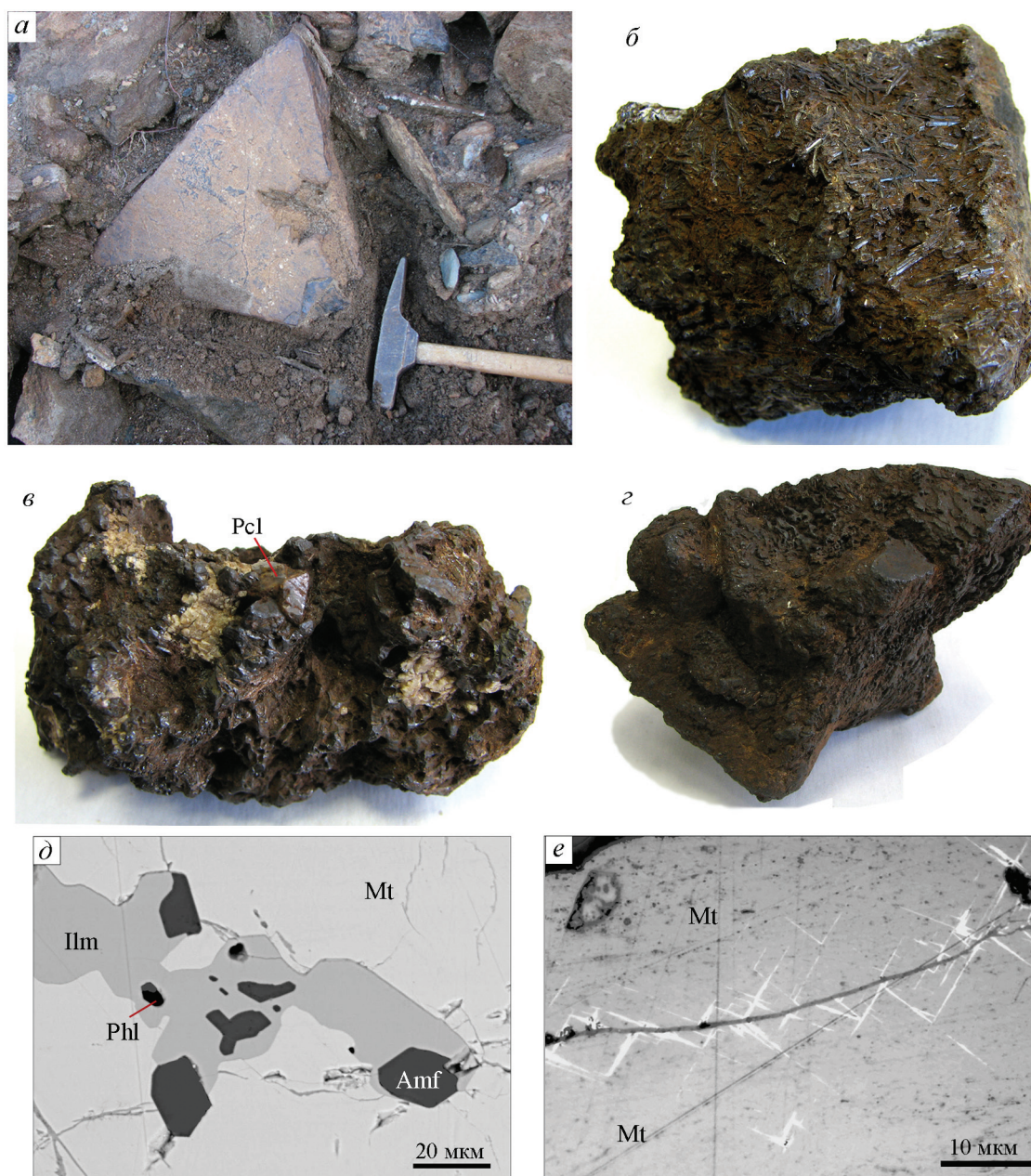


Рис. 5. Магнетит с вростками минералов (Татарское месторождение).

a – кристалл магнетита размером ~40 см в борту карьера; *б* – вростки игольчатых и столбчатых зёрен магнезиоарфведсонита (2–7 мм) в периферической зоне кристалла магнетита размером ~6 см; *в* – агрегат магнетита (8 см) с вростками коричневого пирохлора (Pcl), зеленоватого апатита и кавернами от растворённого карбоната; *г* – магнетит (~8 см) со сложной индукционной поверхностью от растворённого карбоната; *д* – вростки ильменита (Ilm), магнезиоарфведсонита (Amf) и флогопита (Phl) в магнетите (Mt); *е* – распадывающиеся пластинки гематита (белые) в полосе деформации магнетита (отражённый свет). Фото: *a* – П.С. Козлов; *б–г, е* – В.А. Попов; *д* – И.А. Готтман (BSE).

Fig. 5. Magnetite with mineral ingrowths (Tatarka deposit).

a – magnetite crystal ~40 cm in size in the quarry; *б* – ingrowths of acicular and columnar grains of magnesioarfvedsonite (2–7 mm) in the peripheral zone of the magnetite crystal ~6 cm in size; *в* – aggregate of magnetite (8 cm) with brown pyrochlore (Pcl), greenish apatite and caverns from dissolved carbonate; *г* – magnetite (~8 cm) with a complex induction surface from dissolved carbonate; *д* – ingrowths of ilmenite (Ilm), magnesioarfvedsonite (Amf) and phlogopite (Phl) in magnetite (Mt); *е* – exsolution hematite lamellae (white) in deformation zone of magnetite (reflected light). Photo: *a* – P.S. Kozlov; *б–г, е* – V.A. Popov; *д* – I.A. Gottman (BSE).

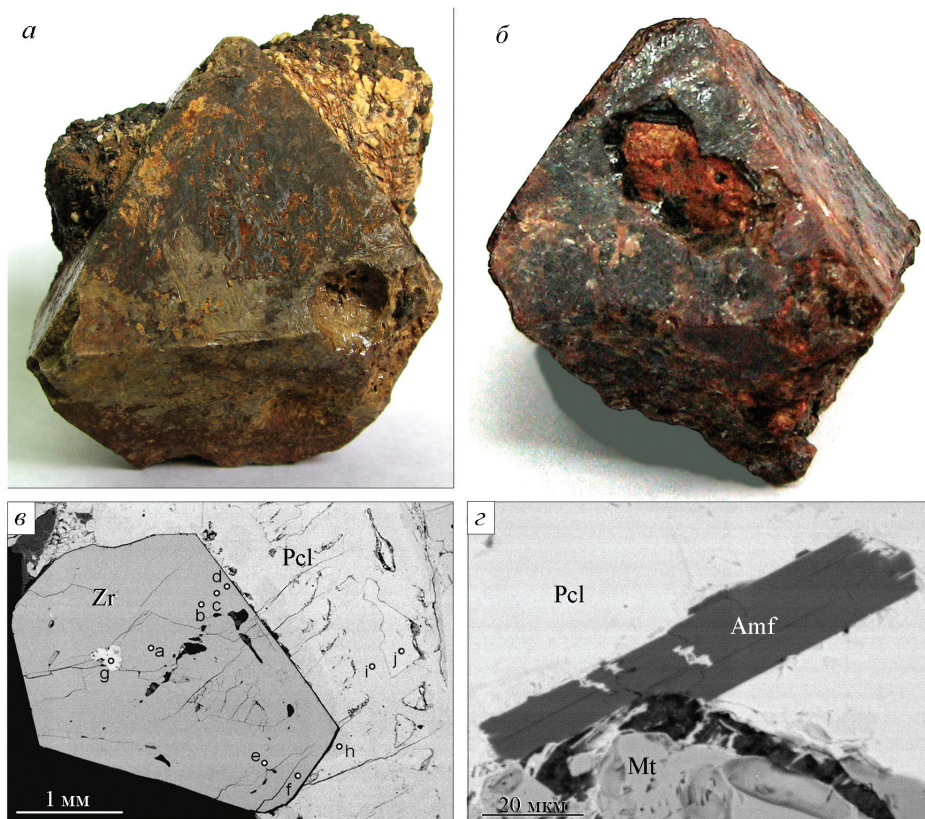


Рис. 6. Минеральные вростки в пироклоре.

a – октаэдр пироклора № 6-т (6.5 см) в сростке с двумя октаэдрами магнетита, содержащими в краевой зоне вростки белого апатита; *б* – обломок (2.5 см) октаэдра пироклора № 1-т с вростком альбита (с плёнкой лимонита); *в* – вросток циркона (Zr) в пироклоре № 4-т (Pcl); *г* – включения магнезиоарфведсонита (Amf) и магнетита (Mt) с кальцитом (чёрное) в пироклоре. Фото: *a, б* – В.А. Попов, *в, г* – В.А. Котляров (BSE).

Fig. 6. Mineral ingrowths in pyrochlore.

a – octahedron of pyrochlore 6-т (6.5 cm) intergrown with two octahedra of magnetite, which contain white apatite in the rim; *б* – fragment (2.5 cm) of octahedron pyrochlore 1-т with ingrowth of albite (with limonite film); *в* – zircon ingrowth (Zr) in pyrochlore 4-т (Pcl); *г* – inclusions of magnesioarfvedsonite (Amf) and magnetite (Mt) with calcite (black) in pyrochlore. Photo: *a, б* – V.A. Popov, *в, г* – V.A. Kotlyarov (BSE).

Рис. 7. Доломит-кальцитовый карбонатит с магнетитом (чёрное), пироклором (светло-коричневый) и апатитом (белый). Образец 8 см. На врезке – зерно пироклора (1.3 см) в карбонатите. Фото: В.А. Попов.

Fig. 7. Dolomite-calcite carbonatite with magnetite (black), pyrochlore (light brown) and apatite (white). Sample is 8 cm in size. Enlarged fragment shows pyrochlore grains (1.3 cm) in carbonatite. Photo: V.A. Popov.





Рис. 8. Агрегат апатита с игольчатым магнизио-арфведсонитом и редким лимонитизированным анкеритом. Образец 7 см. Фото: В.А. Попов.

Fig. 8. Apatite aggregate with acicular magnesioarfvedsonite and rare limonitized ankerite. Sample size is 7 cm. Photo: V.A. Popov.

Рассмотренные взаимоотношения крупных и гигантских кристаллов магнетита и пирохлора с минералами-включениями обнаруживают признаки их одновременной или частично одновременной кристаллизации (в периферических зонах роста), что характерно для эвтектической кристаллизации. Гематит, встречающийся изредка в полосах ранней деформации магнетита, можно отнести к минералам распада твёрдого раствора. Секущие трещинки в крупных кристаллах пирохлора выполнены натролитом с поздним кальцитом, калиевым полевым шпатом и кварцем, гипергенными гидроксидами железа и марганца и минералами глины.

Вариации состава и зональность кристаллов пирохлора

В рудах Татарского месторождения в ранних публикациях охарактеризованы собственно пирохлоры (фторкальциопирохлоры) из доломитовых карбонатитов (кристаллы с красно-коричневым «ядром» и светло-жёлтыми краевыми зонами), а также водные Sr- и Ba-пирохлоры с вакансией в позиции А из латеритных кор зоны гипергенеза [6] – кеностронциопирохлор-(ОН) и кенобариопирохлор-(ОН) (по современной номенклатуре; [9]). В опубликованных данных о составе разных пирохлоров, анализированных стандартным химическим методом [6], указаны небольшие примеси оксидов Si, Al, Mg, Fe и K, обусловленные, вероятно, включениями других минералов, встреченных нами при микронзондовых исследованиях (см. выше). В расчётных формулах таких анализов заметен избыток атомов Na и Ca в позиции А (при B = 2). В химическом анализе более чистого «Sr-пирохлора» определено 16.08 мас. % SrO и малые примеси оксидов Na, Ca, Ba, что даёт формулу кеностронциопирохлора-(ОН) с дефи-

цитом в позиции А $(\square_{\Sigma=0.66} \text{Sr}_{0.57} \text{Ba}_{0.01} \text{REE}_{0.04} \text{Ca}_{0.03} \text{Na}_{0.01})_{\Sigma=0.66} (\text{Nb}_{1.99} \text{Ta}_{0.01})_{\Sigma=2} \text{O}_{5.68} (\text{OH})_{1.64}$. Микронзондовый анализ «Ba-пирохлора» с содержанием BaO 18.24 мас. % и SrO 2.17 мас. % [6] отвечает формуле $(\square_{\Sigma=0.58} \text{Ba}_{0.45} \text{Sr}_{0.08} \text{REE}_{0.04} \text{Ca}_{0.01})_{\Sigma=0.58} (\text{Nb}_{1.97} \text{Ti}_{0.02} \text{Ta}_{0.01})_{\Sigma=2} \text{O}_{5.58} (\text{OH})_{1.47}$ кенобариопирохлора-(ОН).

Во всех исследованных нами крупных кристаллах пирохлора в сечении, близком (110), внутренние (центральные) части содержат многочисленные мельчайшие чёрные тонкотаблитчатые микровключения, ориентированные по {111} пирохлора и иногда слабо просвечивающие красно-коричневым; форма их шестиугольная, треугольная или ромбовидная. Эти микровключения пока не диагностированы, но можно предполагать либо гематит, либо ильменит.

Предварительное исследование неоднородностей состава рентгенофлуоресцентным методом крупных кристаллов пирохлора в сечениях, близких (110), показало вариации содержания ряда элементов. Наиболее заметно относительное обогащение центральных частей кристаллов Ta при низких содержаниях Sr. Периферические зоны пирохлора, напротив, содержат больше Sr, Th, U и различаются по интенсивности окраски (визуально), в отражённых электронах (BSE) и рентгеновском характеристическом излучении ряда элементов. Так, центральная часть одного из крупных кристаллов № 1-т (рис. 9а-б) тёмно-коричневая, без видимых зон и содержит чёрные таблитчатые микровключения. Средняя часть кристалла образована чередованием зон тетрагонтриоктаэра {211}, периферическая – зонами роста октаэдра {111} (см. рис. 9в-е). Визуально светлые зоны кристаллов в отражённых электронах (BSE) более тёмные и обеднены Na, Ca, F при повышенных количествах Sr и воды (табл. 2; рис. 10). На мелких более поздних октаэдрических кристаллах (менее 1 см) есть очень маленькие гра-

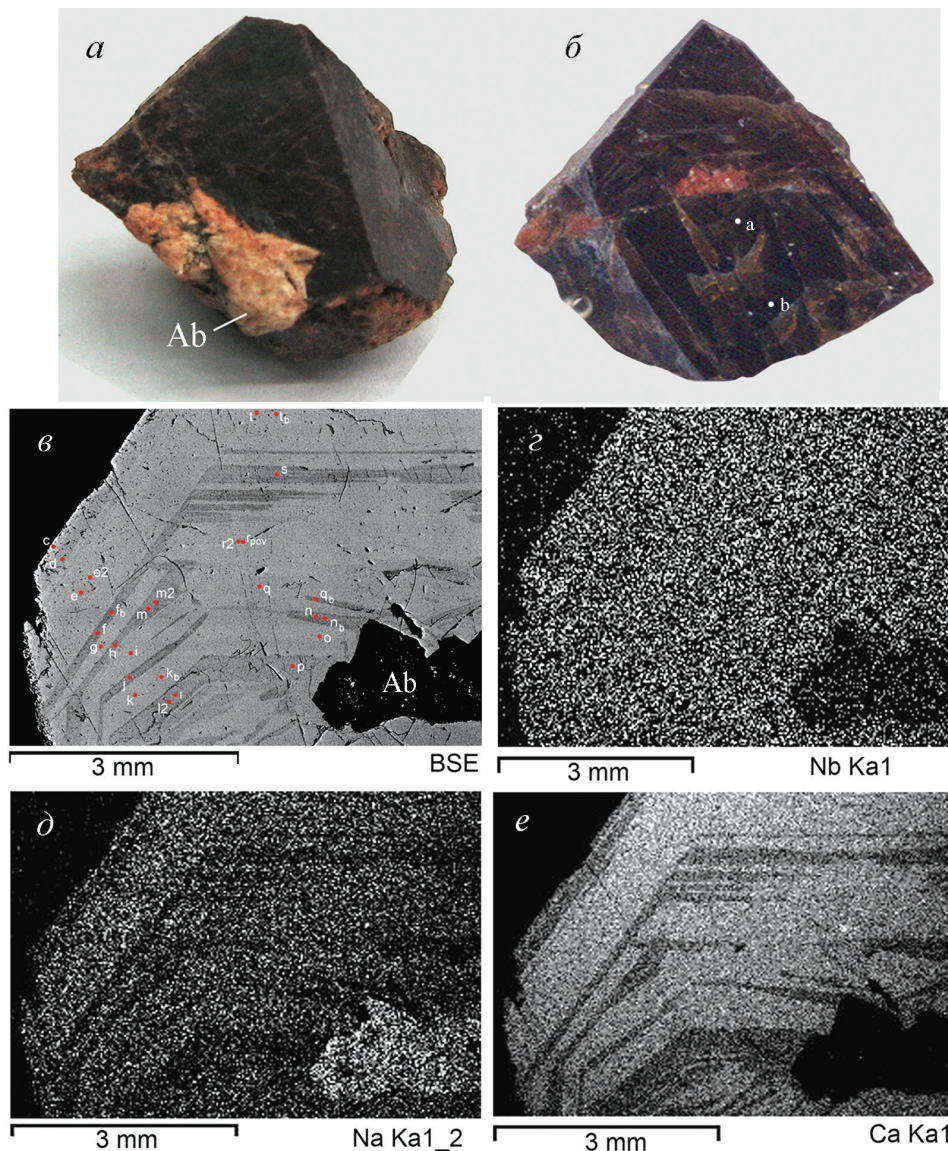


Рис. 9. Часть кристалла пирохлора № 1-т (а, 2.5 см), его сечение (б) и зональность в отражённых электронах (в) и характеристическом излучении элементов (г-е). Фото: а, б – В.А. Попов, в-е – Л.А. Паутов.

Fig. 9. Part of the pyrochlore crystal 1-т (а, 2.5 cm), its cross-section (б), zoning (BSE image) (в), and characteristic radiation of elements (г-е). Photo: а, б – В.А. Попов, в-е – Л.А. Паутов.

ни куба {100}, т.е. в процессе кристаллизации пирохлора происходила смена формы по схеме: {211} → {111} → {111} + {100}, вероятно, при понижении щёлочности минералообразующей среды.

В кристалле пирохлора № 5-т (рис. 11) центральная часть и промежуточная зона (в точке «а») близки по составу пирохлору с эмпирической формулой $(\text{Na}_{0.84}\text{Ca}_{1.12}\text{Sr}_{0.03}\text{Th}_{0.01})_{\Sigma=2}(\text{Nb}_{1.80}\text{Ti}_{0.17}\text{Ta}_{0.03})_{\Sigma=2}\text{O}_{6.50}\text{F}$, а тёмная зона близ периферии (в точке «б») характеризуется меньшими содержаниями Na, Ca, F и Nb при повышенных – Sr, Y, Th, Ti и Ta; в периферических участках кристалла вдоль секущих

трещин характерны дополнительные изменения – с увеличением содержания иттрия.

Один из примеров эпигенетических изменений периферических зон пирохлора и поздних секущих жилоч в нём приведён на рисунке 12. Внутренняя (преобладающая) часть кристалла характеризуется составом, близким анализу в точке 98 с расчётной формулой $(\text{Na}_{0.79}\text{Ca}_{1.15}\text{Sr}_{0.03}\text{REE}_{0.02}\text{Th}_{0.01})_{\Sigma=2}(\text{Nb}_{1.88}\text{Ti}_{0.18}\text{Ta}_{0.04})_{\Sigma=2}\text{F}_{0.92}$. Периферические зоны кристалла содержат немного меньше Na, Ca и Ta при повышенных – REE, Th, U, Ba. Около секущих трещинок пирохлор также обеднён Na и Ca, но обога-

Таблица 2

Химический состав (мас. %) зон пироклора № 1-г Татарского месторождения

Table 2

Chemical composition (wt. %) of pyrochlore zones of the Tatarka deposit

№ ан.	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	TiO ₂	Na ₂ O	CaO	SrO	FeO	MnO	ThO ₂	UO ₂	REE ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	F	H ₂ O*	Сумма
1-a	64.83	1.20	3.50	7.21	16.02	1.03	—	—	0.77	0.11	0.32	0.35	4.65		99.99
2-b	64.44	1.22	3.69	6.83	15.72	1.17	0.13	0.11	1.07	—	1.00	—	5.02		100.16
3-c	64.75	2.53	4.02	3.83	12.46	4.20	—	0.55	0.59	0.19	1.25	0.46	4.89		99.17
4-d	64.55	3.06	3.80	3.19	11.85	4.28	—	0.17	1.31	0.42	0.95	0.40	2.78	2.2	98.96
5-e	65.19	1.58	3.71	7.01	15.67	1.13	—	—	0.78	—	—	—	4.88		99.95
6-f	64.48	2.33	4.12	4.13	13.69	2.16	—	—	0.95	0.25	0.96	0.62	3.84	2.3	99.83
7-g	65.01	1.90	3.85	6.78	15.76	1.15	—	—	1.12	0.23	—	—	4.59		100.39
8-h	63.24	2.92	3.78	3.05	12.24	4.07	0.22	0.15	0.74	0.43	2.42	0.41	3.27	3.0	99.94
9-i	63.59	1.61	3.84	7.20	16.18	1.14	0.11	—	1.39	—	0.18	0.34	5.18		100.65
10-j	61.65	3.44	3.50	3.35	12.19	4.29	—	0.79	0.88	0.30	0.61	0.40	3.41	3.9	98.71
11-k	65.01	1.40	3.93	7.24	16.36	0.87	—	—	0.65	0.18	0.49	0.20	4.22		100.55
12-l	63.21	3.28	3.89	3.34	11.66	4.75	0.25	0.11	1.14	0.71	0.68	0.65	3.10	1.8	98.57
13-m	62.55	3.93	4.45	2.95	13.66	4.02	0.12	0.61	1.52	—	0.74	0.73	3.45	1.2	99.93
14-n	63.51	3.34	4.08	2.94	12.22	4.09	0.12	0.07	1.12	0.24	1.95	0.16	2.95	2.0	99.06
15-o	64.68	1.71	3.63	6.27	15.85	1.21	—	—	0.71	0.25	0.61	—	4.55	0.5	99.97
16-p	63.64	2.99	3.75	3.37	12.94	3.49	0.94	0.42	0.95	0.51	1.84	—	3.00	1.9	99.74
17-r	64.85	1.75	4.03	6.50	15.97	1.26	—	—	1.44	0.19	—	0.24	3.54	0.6	100.00
18-s	62.48	2.92	3.68	2.71	12.22	3.78	0.40	0.61	0.91	0.65	1.71	0.25	2.28	2.5	97.10
19-t	64.54	1.29	4.29	6.82	16.24	0.97	—	—	1.03	0.14	0.72	0.33	4.87		100.48

Расчётные формулы (B = 2)

1-a	(Na _{0.87} Ca _{1.06} Sr _{0.04} Th _{0.01}) _{Σ=1.98} (Nb _{1.82} Ti _{0.16} Ta _{0.02}) _{Σ=2} O _{6.43} F _{0.91}
2-b	(Na _{0.82} Ca _{1.06} Sr _{0.04} Th _{0.02} REE _{0.02}) _{Σ=1.98} (Nb _{1.81} Ti _{0.17} Ta _{0.02}) _{Σ=2} O _{6.46} F _{0.98}
3-c	(□Na _{0.45} Ca _{0.81} Sr _{0.15} Mn _{0.03} Th _{0.01} Y _{0.01} REE _{0.03}) _{Σ=1.49} (Nb _{1.77} Ti _{0.18} Ta _{0.04}) _{Σ=1.99} O _{6.17} F _{0.94} (OH) _{0.47}
4-d	(□Na _{0.38} Ca _{0.77} Sr _{0.15} Mn _{0.01} Th _{0.02} Y _{0.01} REE _{0.02}) _{Σ=1.37} (Nb _{1.78} Ti _{0.17} Ta _{0.05}) _{Σ=2} O _{6.14} F _{0.53} (OH) _{0.47}
5-e	(Na _{0.83} Ca _{1.03} Sr _{0.04} Th _{0.01}) _{Σ=1.91} (Nb _{1.81} Ti _{0.17} Ta _{0.02}) _{Σ=2} O _{6.42} F _{0.94}
6-f	(□Na _{0.49} Ca _{0.89} Sr _{0.08} Mn _{0.01} Th _{0.01} Y _{0.02} REE _{0.02}) _{Σ=1.52} (Nb _{1.77} Ti _{0.19} Ta _{0.04}) _{Σ=2} O _{6.21} F _{0.74} (OH) _{0.26}
7-g	(Na _{0.80} Ca _{1.03} Sr _{0.04} Th _{0.02} U _{0.01} Y _{0.01} REE _{0.05}) _{Σ=1.43} (Nb _{1.77} Ti _{0.18} Ta _{0.05}) _{Σ=2} O _{6.16} F _{0.64} (OH) _{0.36}
8-h	(Na _{0.87} Ca _{1.08} Sr _{0.04} Th _{0.02} Y _{0.01}) _{Σ=1.03} (Nb _{1.79} Ti _{0.18} Ta _{0.03}) _{Σ=2} O _{6.53} F _{1.02}
10-j	(□Na _{0.41} Ca _{0.83} Sr _{0.16} Mn _{0.04} Th _{0.01} Y _{0.01} REE _{0.01}) _{Σ=1.47} (Nb _{1.77} Ti _{0.17} Ta _{0.06}) _{Σ=2} O _{6.20} F _{0.69} (OH) _{0.31}
11-k	(Na _{0.86} Ca _{1.07} Sr _{0.03} Th _{0.01} Y _{0.01} REE _{0.03}) _{Σ=1.01} (Nb _{1.80} Ti _{0.18} Ta _{0.02}) _{Σ=2} O _{6.49} F _{0.82}
12-l	(□Na _{0.40} Ca _{0.77} Sr _{0.17} Mn _{0.01} Fe _{0.01} Th _{0.02} Y _{0.02} REE _{0.01}) _{Σ=1.41} (Nb _{1.76} Ti _{0.18} Ta _{0.06}) _{Σ=2} O _{6.17} F _{0.61} (OH) _{0.39}
13-m	(□Na _{0.35} Ca _{0.90} Sr _{0.14} Mn _{0.03} Fe _{0.01} Th _{0.02} Y _{0.02} REE _{0.02}) _{Σ=1.49} (Nb _{1.73} Ti _{0.20} Ta _{0.07}) _{Σ=2} O _{6.25} F _{0.67} (OH) _{0.26}
14-n	(□Na _{0.35} Ca _{0.79} Sr _{0.14} Fe _{0.01} Th _{0.02} Y _{0.01} REE _{0.03}) _{Σ=1.35} (Nb _{1.75} Ti _{0.19} Ta _{0.06}) _{Σ=2} O _{6.11} F _{0.57} (OH) _{0.43}
15-o	(Na _{0.75} Ca _{1.05} Sr _{0.04} Th _{0.01} REE _{0.02}) _{Σ=1.87} (Nb _{1.80} Ti _{0.17} Ta _{0.03}) _{Σ=2} O _{6.43} F _{0.89} (OH) _{0.11}
16-p	(□Na _{0.40} Ca _{0.86} Sr _{0.12} Th _{0.01} U _{0.01} REE _{0.05}) _{Σ=1.45} (Nb _{1.78} Ti _{0.17} Ta _{0.05}) _{Σ=2} O _{6.26} F _{0.59} (OH) _{0.13}
17-r	(Na _{0.77} Ca _{1.05} Sr _{0.04} Th _{0.02} Y _{0.01}) _{Σ=1.89} (Nb _{1.80} Ti _{0.17} Ta _{0.03}) _{Σ=2} O _{6.45} F _{0.69} (OH) _{0.13}
18-s	(□Na _{0.33} Ca _{0.82} Sr _{0.14} Th _{0.01} U _{0.01} REE _{0.05}) _{Σ=1.36} (Nb _{1.78} Ti _{0.17} Ta _{0.05}) _{Σ=2} O _{6.21} F _{0.45} (OH) _{0.13}
19-t	(Na _{0.81} Ca _{1.06} Sr _{0.03} Th _{0.01} Y _{0.01} REE _{0.01}) _{Σ=1.93} (Nb _{1.79} Ti _{0.19} Ta _{0.02}) _{Σ=2} O _{6.46} F _{0.95}

Примечание. Буквы в номере – точки анализа на рис. 9. Микрозонд JCXA-733-JEOL, аналитик Л.А. Паутов.

Note. Letters in number are points of analysis in Fig. 9. JCXA-733-JEOL microprobe, analyst L.A. Pautov.

щён Та, а середина жилки часто выполнена кальцием с малыми примесями Mg, Mn, Fe и Sr.

Формы роста и зональность состава исследованных нами пироклоров с участками индукционных поверхностей с карбонатами и с сингенетичными вростками разных минералов указывают на прямую кристаллизацию, т.е. пироклоры месторождения не являются метакристаллами.

Некоторые данные о составе минералов, ассоциирующих с пироклором в карбонатитах и фенитах Татарского месторождения

В ранних химических анализах карбонатов, амфибола, эгирина и флогопита [6] есть неизбежные малые примеси из-за включений других минералов. В опубликованных микрозондовых анализах амфиболов и слюд [2] нет данных о предполагаемых количествах фтора и воды.

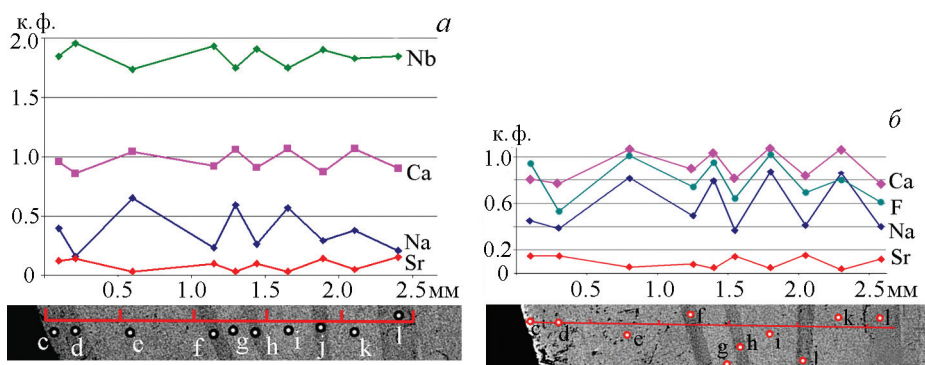


Рис. 10. Вариации коэффициентов атомов формул в периферических зонах пироклора № 1-т (см. рис. 9).
 Аналитики В.А. Котляров (а, РЭММА-202М), Л.А. Паутов (б, JCXA-733-JEOL микрозонд).
 Fig. 10. Variations in formula units in peripheral zones of pyrochlore 1-т (see Fig. 9).
 Analysts V.A. Kotlyarov (a, SEM REMMA-202M), L.A. Pautov (б, JCXA-733-JEOL microprobe).

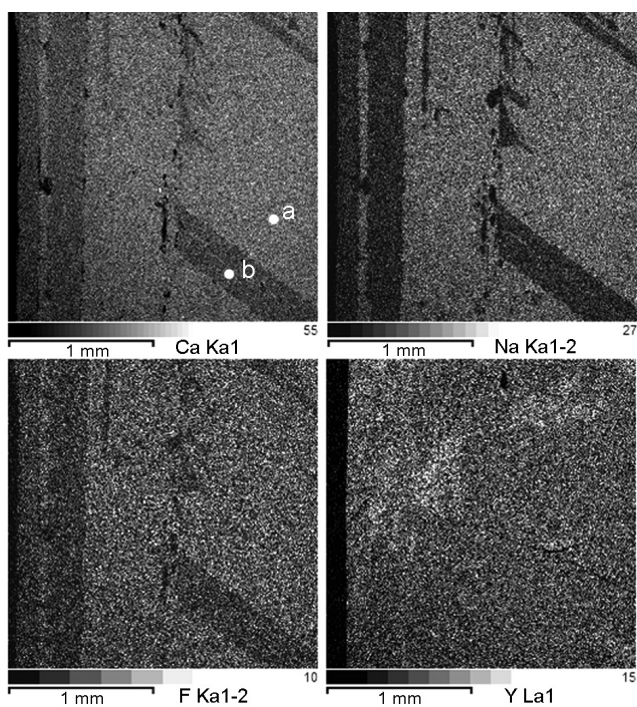


Рис. 11. Фрагмент периферических зон пироклора № 5-т с наложением Y-минерализации вдоль секущей трещины.
 Фото: И.А. Блинов.
 Fig. 11. Fragment of peripheral zones of pyrochlore 5-т with superposition of Y-mineralization along the crack.
 Photo: I.A. Blinov.

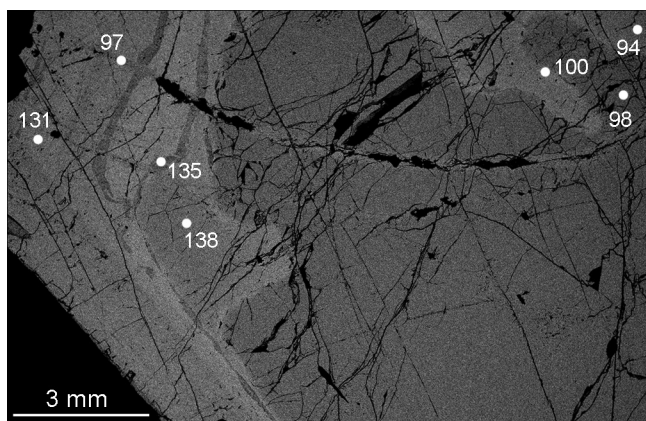


Рис. 12. Участки изменения и секущие минеральные жилки в пироклоре № 2-т. Цифры – номера анализов.
 Фото: В.В. Шиловских.
 Fig. 12. Areas of alteration and mineral veinlets in pyrochlore 2-т. Numerals are numbers of analyses.
 Photo: V.V. Shilovskikh.

Некоторые полученные нами микронзондовые данные о составе ряда минералов, в том числе выявленных дополнительно в исследованных препаратах, кратко приведены ниже.

Кальцит, образующий вросстки в пироклоре, обычно содержит переменные примеси (мас. %): MnO 0.78–1.95; SrO 0.39–0.83, MgO 0.66; FeO 0.22–0.71; в кальците из секущих жилков отмечены малые примеси Mn и Sr. *Доломит* в разных образцах содержит примеси FeO до 5–8 мас. % и SrO до 0.6–0.8 мас. %, а также мелкие вросстки кальцита. Более железистые карбонаты – *анкерит* и *сидерит* – встречены в единичных образцах.

Из амфиболов в карбонатитах абсолютно преобладает *фтормагнезиоарфведсонит* с содержанием 1.8–1.97 мас. % F и примесью K₂O 1–1.5 мас. % (Самеса SX-100, аналитик Д.А. Замятин). Среди магнезиоарфведсонитов отмечались единичные анализы, переходные к рихтериту и рибекиту [2].

Из слюд в карбонатитах наиболее характерны *флогопиты*, а более железистые разновидности (*анниты*) редки.

Фторанатит из ассоциации с карбонатами, флогопитом, фтормагнезиоарфведсонитом, пироклором и магнетитом относительно однороден по составу; примеси не обнаружены.

Магнетит крупных кристаллов и из включений в пироклоре по составу практически стехиометричны; отмечаемые иногда незначительные примеси Ti, Mn и Ca обусловлены, возможно, микровключениями рутила и кальцита, более крупные вросстки которых встречены в ряде участков магнетита.

В составе *ильменита* проявлен небольшой дефицит Ti при избытке Fe (вероятно, ~ 1 мас. % Fe₂O₃) и обычна примесь MnO до 0.15–1.2 мас. %, иногда – до 0.5 мас. % Nb₂O₅; расчётная формула одного из анализов (Fe_{0.98}²⁺Mn_{0.02})(Ti_{0.96}Fe_{0.04}³⁺)O₃.

Рутил содержит примеси FeO до 5 мас. % и Nb₂O₅ до 1–6 %. В одном из зёрен рутила (в магнетите среди ильменита) встречены микровключения сфалерита и галенита.

Колумбит-(Fe) при микронзондовых исследованиях встречен в магнетите на контакте с пироклором. В составе его определены (мас. %): FeO 20.48; MnO 0.49; Nb₂O₅ 75.71; TiO₂ 2.51; сумма 99.19; формула его (Fe_{0.95}Mn_{0.02})_{Σ=0.97}((Nb_{1.92}Ti_{0.09})_{Σ=2}O_{5.92}).

Микровключения предполагаемого *ферсмита* встречены среди пироклора. Состав ферсмита (среднее из 2-х анализов, мас. %): CaO 13.67; SrO 2.79; MnO 0.42; FeO 0.10; Ce₂O₃ 0.91; UO₂ 3.74;

ThO₂ 0.95; Nb₂O₅ 71.51; TiO₂ 4.99; сумма 99.08; расчётная формула (на B = 2): (Ca_{0.81}Sr_{0.09}Mn_{0.02}Ce_{0.02}Th_{0.01}U_{0.05})_{Σ=0.91}(Nb_{1.79}Ti_{0.21})_{Σ=2}O_{5.97}. В отличие от пироклора, в анализах нет Na, но больше Nb и U.

В магнетите № К-3 встречено микрозерно титанониобата состава, мас. %: CaO 4.4; Y₂O₃ 15.1; FeO 16.37; TiO₂ 25.84; Nb₂O₅ 26.34; UO₂ 12.1; сумма 100.15 (аналитик И.А. Готтман). При исключении содержания FeO (как влияния магнетита), расчётная формула имеет вид (Y_{0.51}Ca_{0.30}U_{0.17})_{Σ=0.98}(Ti_{1.24}Nb_{0.76})_{Σ=2}O_{5.67}, близкий *эшиниту*-(Y).

Циркон, встреченный в сростках с пироклором и магнетитом, содержит 0.79–1.29 мас. % HfO₂ и до 0.6 мас. % Y₂O₃.

Монацит-(Ce) выявлен как включение в зерне магнетита среди пироклора № 6-т (см. рис. 6а). Состав монацита (мас. %): Ce₂O₃ 34.12; La₂O₃ 17.29; Pr₂O₃ 3.56; Nd₂O₃ 6.87; Sm₂O₃ 0.27; ThO₂ 6.39; CaO 0.37; FeO 0.91; SrO 1.65; P₂O₅ 27.90; сумма 99.33, расчётная формула (Ce_{0.53}La_{0.27}Nd_{0.10}Pr_{0.05}Th_{0.06})_{Σ=1.01}(PO₄) (исключая примеси Ca, Fe и Sr как возможное влияние состава минералов-«хозяев»).

Золото встречено как микровключение в магнетите – в спектре выявлены только Au (и Fe от влияния магнетита).

В пироклоре найдены мелкие округлые включения *нозеана* в ассоциации с калиевым полевым шпатом, а также зёрна и жилочки *натролита* по тонким трещинкам. В составе нозеана определены, мас. %: Na₂O 23.90; CaO 0.54; K₂O 0.33; Al₂O₃ 29.21; SiO₂ 35.63; SO₃ 7.88; сумма 97.49 (аналитик В.А. Котляров); расчётная формула на Si = 6 имеет вид: (Na_{7.80}Ca_{0.10}K_{0.07})_{Y=7.97}(Al_{5.80}Si₆O_{23.2})(SO₄) с небольшим дефицитом Na, Al и O. Натролит из образца № 2-т имеет состав, мас. %: Na₂O 14.91; FeO 2.12; CaO 0.33; K₂O 0.08; Al₂O₃ 26.14; SiO₂ 47.54; сумма 91.12 (аналитик В.А. Котляров); H₂O_{расч.} 8.88, что при расчёте на Si = 3 приводит к формуле (Na_{1.82}Ca_{0.02}K_{0.01}Fe_{0.05})_{Y=1.90}(Al_{1.94}Fe_{0.06}Si₃O₁₀)·1.87H₂O с некоторым дефицитом Na и H₂O.

По результатам микронзондовых анализов предварительно диагностированы мелкие выделения шамозита, глауконита, иллита и диаспора.

Заключение

В жильных телах карбонатитов и карбонатит-пегматитов Татарского месторождения пироклор кристаллизовался совместно с кальцитом, магнетитом, фтормагнезиоарфведсонитом, цирконом и

некоторыми другими минералами карбонатитов. Центральная часть кристаллов по составу отвечает фторкальциопирохлору, который на периферии кристаллов чередуется с зонами стронций содержащего гидроксикальциопирохлора. С периферии кристаллов пирохлора и вдоль трещин пирохлоры изменены с заметным дефицитом в позиции А. Дополнительно к известным в месторождении минералам выявлены монацит-(Се), эшинит-(У), нозеан, натролит, золото, сидерит, анкерит, а также алюмосиликаты – шамозит, каолинит, иллит. Ранее считалось, что пирохлором обогащены преимущественно доломитовые карбонатиты [2, 6]. В исследованных нами крупных кристаллах пирохлора преобладают сингенетичные с ними вросстки кальцита, а в доломит-кальцитовых карбонатитах пирохлор также приурочен к агрегатам кальцита.

Карбонатиты и карбонатит-пегматиты линейного типа Татарского месторождения по морфологии и взаимоотношениям пирохлора с сопутствующими минералами имеют некоторые черты сходства с карбонатитами линейного типа Ильменогорско-Вишневогорской провинции на Урале – месторождениями Вишневогорским, Потанинским, Западно-Ерёминским, Булдымским и Спирихинским нефелин-сиенитовой–карбонатитовой формации, но пирохлор в них содержит более высокие примеси редкоземельных и радиоактивных элементов [7, 8]. Непосредственно на участке Татарского месторождения не выявлено крупных щелочных массивов, но наличие магматических щелочных пород на больших глубинах вполне возможно. В зоне Татарского глубинного разлома известны проявления щелочного и карбонатитового магматизма: в 30–40 км южнее Татарского месторождения расположен Среднетатарский массив эгириновых сиенитов и ийолитов [3].

Авторы благодарны И.А. Готтман, Д.А. Замятину и М.Н. Малярёнок за выполнение ряда анализов, А.В. Донскову и С.В. Колисниченко – за предоставление отдельных кристаллов пирохлора, а также Е.В. Белогуб за конструктивные замечания.

Аналитические исследования выполнены частично по госбюджетной теме № АААА-А17-1/7020250032-1 Института минералогии УрО РАН и Проекту РНФ № 16-17-10201 Института геологии и геохимии УрО РАН.

Литература

1. Бухарова О.В., Гологузов А.Е. (2014) Гигантские кристаллы пирохлора из коры выветривания месторождения Татарское (Енисейский кряж). *Современные проблемы географии и геологии*. Матер. III Международ. научно-практ. конфер. Томск: ТГУ, 717–722.
2. Врублевский В.В., Покровский Б.Г., Журавлёв Д.З., Аношин Г.Н. (2003) Вещественный состав и возраст пенченгинского линейного комплекса карбонатитов, Енисейский кряж. *Петрология*, 11(2), 145–163.
3. Врублевский В.В., Ревердатто В.В., Изох А.Э., Гертнер И.Ф., Юдин Д.С., Тишин П.А. (2011) Неопротерозойский карбонатитовый магматизм Енисейского кряжа, Центральная Сибирь: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -геохронология пенченгинского комплекса. *Доклады АН*, 437(4), 514–519.
4. Забродин В.Ю., Малышев А.А. (1975) Новый комплекс щелочных–основных пород и карбонатитов в Енисейском кряже. *Доклады АН СССР*, 223(5), 1223–1226.
5. Лапин А.В., Малышев А.А., Плошко В.В., Черепивская Г.Е. (1986) Стронциопирохлор из латеритных кор выветривания карбонатитов. *Доклады АН СССР*, 290(5), 1212–1217.
6. Лапин А.В., Плошко В.В., Малышев А.А. (1987) Карбонатиты зоны Татарского глубинного разлома на Енисейском кряже. *Геология рудных месторождений*, (1), 30–45.
7. Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С. и др. (1997) Щёлочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 274 с.
8. Фролов А.А., Толстов А.В., Белов С.В. (2003) Карбонатитовые месторождения России. М.: НИИ-Природа, 494 с.
9. Atencio D., Andrade M.B., Christy A.G., Giere R., Kartashov P.M. (2010) The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature. *Canadian Mineralogist*, 48(3), 673–698.

Поступила в редакцию 25 марта 2017 г.