УДК 549.7 (234.853)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПИРОХЛОРАХ ЩЕЛОЧНЫХ ПЕГМАТИТОВ И РУДНЫХ ЗОН ВИШНЁВЫХ ГОР (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

В.И. Попова, В.А. Попов, И.А. Блинов, В.А. Котляров

Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; popov@mineralogy.ru

NEW DATA ON PYROCHLORE OF ALKALI PEGMATITES AND ORE ZONES OF THE VISHNEVYE MOUNTAINS (SOUTHERN URALS)

V.I. Popova, V.A. Popov, I.A. Blinov, V.A. Kotlyarov

Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Chelyabinsk district, 456317 Russia; popov@mineralogy.ru

Минералы группы пирохлора широко распространены в породах Вишневогорского щелочного комплекса пород – миаскитах, фенитах, слюдитах, карбонатитах и их пегматитах. В сложных пегматитовых телах встречается несколько генераций минерала. По современной номенклатуре среди минералов группы пирохлора в Вишнёвых горах установлены фторкальциопирохлор, оксикальциопирохлор, оксинатропирохлор, оксикенопирохлор, оксиуранпирохлор и гидрокальциобетафит. Химический состав минералов группы пирохлора различен как в индивидах (зональность), так и в разных пегматитах. В кристаллах пирохлора проявлены смена состава, следы деформаций, метасоматоза, метамиктизации и распада твёрдого раствора, а также включения других минералов.

Илл. 9. Табл. 5. Библ. 24.

Ключевые слова: минералы группы пирохлора, щелочные пегматиты, Вишнёвые горы, Южный Урал.

The minerals of the pyrochlore group are abundant in rocks of the Vishnevogorsk alkaline complex – miaskites, mica rocks, carbonatites, and their pegmatites. Several generations of pyrochlore can be found in complex pegmatite bodies. According to the current nomenclature, fluorcalciopyrochlore, oxycalciopyrochlore, oxynatropyrochlore, oxycenopyrochlore, oxyuranpyrochlore, and hydrocalciobetafite are identified among of minerals of the pyrochlore group of the Vishnevye Mountains. Their chemical composition is different in both the individuals (zoning) and different pegmatites. The pyrochlore crystals exhibit the variable composition, the traces of deformation, metasomatosis, metamictization, exsolution structures, as well as inclusions of other minerals.

Figures. 9. Tables 5. References. 24.

Key words: minerals of the pyrochlore group, alkali pegmatites, Vishnevye Mountains, Southern Urals.

Введение

Пирохлоры – обычные акцессорные минералы щелочных сиенитов (миаскитов), карбонатитов, щелочных пегматитов и карбонатит-пегматитов Вишневогорского комплекса. В Вишнёвых горах титанониобат группы пирохлора впервые отмечен в 1928 г. (Амеландов, 1929, 1931). За период 1937– 1940 гг. выявлено 80 пирохлорсодержащих жил, 30 из которых разведаны (Исаков, 1940ф). С организацией в 1943 г. Вишневогорского рудоуправления в 1944 г. началась добыча и переработка пирохлоровых руд старательским способом, составлявшим 82 % в 1948 г., а в 1949 г. доля добычи государственным сектором составляла уже 31.8 % (Исаков и др., 1950 ϕ). Отрабатывались пегматиты жил №№ 5, 30, 35, 36, 37, 110, 111, 123, 124, 125, 126, 134, 137, 140, 141 и ряд других (рис. 1). По состоянию на 1962 г. суммарные запасы Nb₂O₅ по рудной зоне 140 составляли более 75 тыс. т, по зоне 147 – более Рис. 1. Схема расположения пегматитовых жил и рудных зон с пирохлором в Вишнёвых горах (составлена М.Г. Исаковым по материалам В.С. Красулина, Е.А. Кузнецова, Ф.А. Сенникова, В.Д. Водопьянова и Вишневогорской ГРП, с дополнением).

1–5 – вмещающие породы: 1 – миаскиты, 2 – щелочные сиениты, фениты, 3 – гранито-гнейсы, 4 – плагио-гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кварциты; 5 – серпентиниты; 6 – жилы щелочных пегматитов; 7 – рудные зоны; 8 – изогипсы рельефа.

Fig. 1. Schematic location of pegmatite veins and ore zones with pyrochlore of the Vishnevye Mountains (modified after compilation of M.G. Isakov from materials of V.S. Krasulin, E.A. Kuznetsov, A.F. Sennikov, V.D. Vodopyanov, and Vishnevogorsk GRP).

1-5 – host rock: 1 – miaskites, 2 – alkali syenites, fenites, 3 – granite gneisses, 4 – plagiogneisses, crystalline schists, amphibolites, quartzites; 5 – serpentinites; 6 – veins of alkali pegmatites; 7 – ore zones; 8 – isohypses of relief.

41 тыс. тонн с извлечением ~50 % (Климов, Роненсон, 1963 ϕ). Двумя карьерами и подземными выработками шахты «Капитальная» преимущественно добывались руды зоны 140, протяжённость которой около 2 км. Другие зоны разрабатывались частично и законсервированы, в том числе зона 147 вдоль западного и, частично, восточного контактов миаскитового массива Вишнёвых гор и прослеженная южнее в Потаниных горах при общей протяжённости её более 20 км.

Изучение пирохлора Вишнёвых гор началось в связи с характеристикой месторождения ниобиевых руд (Исаков, 1940ф; Иванов и др., 1944). Более детальные данные о минералах группы пирохлора Вишнёвых гор приведены в работах ряда исследователей (Бонштедт-Куплетская, 1951; Еськова, 1959; Еськова, Назаренко, 1960; Минеев, Разенкова, 1962; Еськова и др., 1964; Чесноков, 1964; Ефимов и др., 1985; Поляков, Баженова, 1989; Левин и др., 1997), где состав пирохлора исследован химическим методом «валовых» проб. Отмечались частичные псевдоморфозы колумбита, ферсмита и ниобоэшинита по пирохлору (Бонштедт-Куплетская, 1951; Еськова и др., 1964; Лебедева, Недосекова, 1993). Позднее выполнены отдельные микрозондовые анализы пирохлора, но в публикациях были приведены только усреднённые формулы (Попов, Нишанбаев, 2008; Попов и др., 2017).), а в публикации И.Л. Недосековой с соавторами (2018) треугольные диаграммы (без анализов, для всего Ильмено-Вишневогорского комплекса), на которых собственно вишневогорские не выделены.



В процессе наших ревизионных раоот по минералогии пегматитов Вишнёвых гор в Институте минералогии УрО РАН (г. Миасс) получены новые данные о зональности состава и минеральных ассоциациях минералов группы пирохлора и сопутствующих минералов из пегматитов ряда жил горы Каравай, Курочкина лога, карьеров зоны 140, горы Долгой и других жил. Исследования проведены с использованием растрового электронного микро-



Рис. 2. Пирохлор в пегматитах жил среди пироксеновых фенитов зоны 125 (а), миаскитов Курочкина Лога (б, жила 1), миаскитов горы Долгой (в, карьер Надежда) и биотитовых фенитов (г, отвал карьера жилы 35). *Фото:* В.А. Попов. *Fig.* 2. Pyrochlore in pegmatite veins among pyroxene fenites of zone 125 (а), miaskites of Kurochkin Log (б, vein 1), miaskites of Mt. Dolgaya (в, quarry Nadezhda), and biotite fenites (г, quarry of vein 35). *Photo:* V.A. Popov.

скопа Tescan Vega3 sbu с ЭДС Oxford Instruments X-act при ускоряющем напряжении 20 кВ (аналитик И.А. Блинов), а также рентгеновского электронного микроанализатора РЭММА-202М с ЭДС LZ-5 Link с Si-Li-детектором (аналитик В.А. Котляров) и эталонов MINM-25-53 и Mineral Mount Serial № 01-44. Ниже приведены как вновь полученные результаты исследований, так и некоторые обобщения ранее известных данных.

Минеральные парагенезисы и морфология пирохлора Вишнёвых гор

В жильных телах щелочных пегматитов и штокверковых зон среди миаскитов и фенитов минералы группы пирохлора образуют парагенезисы с полевыми шпатами (микроклином, альбитом), нефелином, канкринитом, содалитом, аннитом, щелочными пироксенами и амфиболами, кальцитом, магнетитом, ильменитом, апатитом, цирконом, титанитом, пиритом, пирротином и другими минералами (Бонштедт-Куплетская, 1951; Еськова и др., 1964; и др.). Пирохлор в разных жилах и прожилках локализован в их эндоконтактах или в центральных зонах (рис. 2) и имеет с этими минералами участки классических индукционных поверхностей одновременного роста (рис. 3). Срастания пирохлора с цирконом и их тесную ассоциацию с полевыми шпатами и нефелином также отмечала Э. М. Бонштедт-Куплетская (1951), относя их к продуктам нормальной кристаллизации пегматитов. Однако некоторые исследователи нередко рассматривали зёрна пирохлора как метакристаллы в альбититах, карбонатитах и пегматитах (Еськова и др., 1964; Жабин, 1966). За время наших наблюдений (около 40 лет) в различных минеральных телах нам ни разу не встретились метакристаллы пирохлора, т.е. не было собственно пирохлорового метасоматоза. В большинстве случаев пирохлорсодержащие жилы и прожилки имеют зональное строение: в их эндоконтактовых участках преобладают алюмосиликаты с небольшим количеством включений кальцита и затем - пирохлора с кальцитом, завершающим кристаллизацию с участками индукционных поверхностей сокристаллизации с остальными минералами и с пирохлором, что более характерно для штокверковой зоны 140, давшей основную массу ниобиевой руды Вишневогорского месторождения карбонатитового типа.

Размер индивидов пирохлора варьирует от первых микрометров до 5–10 мм, достигая более 10 см на Саламатовском участке северного склона горы Каравай (Бонштедт-Куплетская, 1951) и 14 см в карбонатит-пегматитах Булдымского массива гипербазитов (Поляков, Баженова, 1989). Плотность вишневогорского пирохлора составляет 3.7–



Рис. 3. Вид кристаллов пирохлора с участками собственных граней и индукционных поверхностей сокристаллизации с другими минералами.

а-г – карбонатитовые жилы зоны 140 с полевыми шпатами и аннитом (кальцит частично подтравлен HCl); д – сечение кристаллов пирохлора с индукционными поверхностями сокристаллизации с полевыми шпатами (Fsp) и кальцитом (Cal) из зоны 140, шахта Капитальная; е – вростки циркона, пирохлора и полевых шпатов в анните жилы 5, гора Каравай. Фото: В.А. Попов.

Fig. 3. Pyrochlore crystals with areas of their faces and compromise growth surfaces with other minerals.

a-r – carbonatite veins of zone 140 with feldspar and annite (calcite is partly etched by HCl); μ – cross section of pyrochlore crystals with compromise growth surfaces with feldspar (Fsp) and calcite (Cal) from the Kapital'naya mine; e - zircon, pyrochlore and feldspar inclusions in annite, vein 5, Mt. Karavay. *Photo:* V. Popov.

4.60 г/см³ (Бонштедт-Куплетская, 1951; Чесноков, 1964). Габитусные типы его кристаллов установлены по отдельным кристаллам и фрагментам идиоморфной поверхности. Абсолютно преобладают кристаллы с гранями октаэдра (рис. 4*a*), менее развиты октаэдры с небольшими гранями куба (см. рис. 4*б*). Реже встречаются кристаллы в форме комбинации октаэдра {111} с небольшими гранями куба {100}, тетрагонтриоктаэдров {211} и {311} (см. рис. 4*в*), изредка – с узкими гранями ромбододекаэдра {110} (см. рис. 4*г*). Иногда встречались мелкие тетрагонтриоктаэдры {311}(см. рис. 4*д*) с крохотными гранями октаэдра (Чесноков, 1964).

В пегматитовых жилах и их участках кристаллы пирохлора разнообразны по цвету. Наиболее часто встречаются красновато-коричневые, коричневато-

красные и тёмно-коричневые до чёрно-коричневых кристаллы, реже - тёмно-красные, желтовато-красные, фиолетово-розовые, янтарно-жёлтые, желтоватые, лимонно-жёлтые или зеленоватые (см. рис. 3). Определённой закономерности в распределении цвета в зонах роста кристаллов пирохлора в разных пегматитовых телах не отмечалось, кроме более тёмных внутренних участков и относительно светлых периферических зон или пятнистости окраски (Бонштедт-Куплетская, 1951). При метамиктизации пирохлоров происходит увеличение объёмов кристаллов примерно на 30 % и развитие радиальных трещинок вокруг них в хрупких минералах, а кристаллы слоистых силикатов около пирохлоров деформируются с образованием «складчатости» (Чесноков, 1956).



Puc. 4. Идеализированная форма кристаллов пирохлора Вишневогорского месторождения. *Fig. 4.* Idealized morphology of pyrochlore crystals of the Vishnevogorsk deposit.

Видимая зональность окраски обнаруживается в большинстве пирохлоров Вишнёвых гор. Она проявлена в различии цвета и/или его интенсивности, пористости или трещиноватости, возникновении отдельности, структур распада твёрдого раствора, вростками синхронных минералов и наложенными изменениями. Среди исследованных нами пирохлоров встречены кристаллы как с первичной (ростовой) зональностью с чередованием тёмноокрашенных и светлых зон переменной толщины, так и с наложенной зональностью и пятнистостью в связи с поздними изменениями, что рассмотрено ниже.

Химический состав зон роста кристаллов пирохлора

Среди многочисленных анализов минералов группы пирохлора и бетафита Вишнёвых гор, выполненных стандартным химическим методом (единичных – микрозондовым) и опубликованных в обобщающих работах (Бонштедт-Куплетская, 1951; Еськова, Назаренко, 1960; Еськова и др., 1964; Левин и др., 1997; Минералогия Урала, 2000), указывались следующие виды согласно номенклатуре (Atencio et al., 2010): оксикальциопирохлор (пирохлор), фторкальциопирохлор (пирохлор), гидрокальциопирохлор (пирохлор), гидроксикальциопирохлор (пирохлор), гидропирохлор редкоземельный (цериопирохлор), гидроксипирохлор U-содержащий (гатчеттолит), гидрокальциобетафит U-Fe-содержащий (бетафит) (в скобках даны прежние названия).

Как правило, в конкретном неоднородном индивиде минерала вариации его состава могут выходить за рамки одного минерального вида, что осложняет общее название пирохлора при его описании по данным химических анализов методом «мокрой химии», где результаты неизбежно характеризуют суммарные составы минералов. Существенно усложняется ситуация с номенклатурой минерала при использовании данных микрозондового анализа. Если микрозондовым анализом охарактеризованы единичные точки в зёрнах пирохлора без приведения полной анатомической картины их, то велика вероятность ошибки в установлении названия минерала группы пирохлора в целом для индивида.

Первичная ростовая зональность пирохлора рассмотрена на примере крупных кристаллов из керна полосчатого миаскита зоны 140. Кристалл тёмно-коричневого цвета размером 13 мм с участками граней октаэдра распилен параллельно плоскости (110), и в нём отчётливо проявлены 17 зон, субпараллельных соответствующим граням октаэдра (рис. 5а). Центральная часть кристалла характеризуется чередованием коричневых и светло-коричневых зон, средняя часть - зеленовато-коричневых, зеленоватых и коричневых зон разной интенсивности, а краевые зоны – тёмно-коричневые с тонкими светло-коричневыми зонами. На BSEфото видна ещё более тонкая зональность (см. рис. 5б) с варьирующим составом (табл. 1). Дефицит суммы компонентов в анализах от центральной части кристалла к периферии меняется в пределах 1-10 мас. %, что может быть связано с наличием воды, отложением других минералов в микротрещинках и дефектностью структуры пирохлора, а также и с микропористостью. Большой разброс в составе других компонентов в зонах пирохлора не выходит за пределы состава оксикальциопирохлора, кроме анализа в точке (k), где светло-коричневая зона с более высоким содержанием Na и F относится к фторкальциопирохлору и содержит микровключение фторапатита (с примесью Sr, Ce и Ү). При микрозондовом исследовании в этом пирохлоре выявлена сеть тончайших трещинок, выполненных более поздними минералами – ферсмитом и хошелагаитом с железистыми алюмосиликатами (см. рис. 5 и табл. 2), натролитом, стронцианитом, гиббситом и другими.

В карьере зоны 147 на северо-западном склоне горы Долгой (см. рис. 1) встречена жила ильменит-





p-v – ферсмит (Fsm), u – хошелагаит, t-q – вермикулит, Ap – фторапатит.

Fig. 5. Growth zoning in section \sim (110) of octahedral crystal of oxycalciopyrochlore (a, 6) of carbonatite in miaskite of zone 140 and areas with late mineralization along the cracks (B-д).

 $\mathbf{p}-\mathbf{v}$ – fersmite (Fsm), \mathbf{u} – hochelagaite, $\mathbf{t}-\mathbf{q}$ – vermiculite, $\mathbf{A}\mathbf{p}$ – fluorapatite.

кальцитового карбонатита мощностью до 30 см с подчинённым количеством полевых шпатов, биотита, канкринита, вишневита, фторапатита, циркона, натролита, сульфидов и пирохлора (Попов, Нишанбаев, 2008). Пирохлор в кальците образует как отдельные зёрна до 1.5 мм, так и нодулярные срастания с ильменитом с индукционными поверхностями совместного роста. Преобладают самостоятельные зёрна пирохлора, но встречаются и вростки мельчайших его зёрен в ильмените, а также мирмекитовидные срастания с ильменитом (рис. 6). Химический состав фторкальциопирохлора, мас. % (среднее из пяти анализов, рентгеноспектральный микроанализатор Jeol-733, аналитик Е.И. Чурин): Na₂O 6.07; CaO 15.40; ThO₂ 0.38; Ce₂O₃ 0.38; UO₂ 0.37; Nb₂O₅ 66.03; TiO₂

МИНЕРАЛОГИЯ 4(3) 2018

3.48; Ta₂O₅ 3.21; F 4.46; сумма 99.78, что отвечает формуле (Ca_{0.99}Na_{0.71}Th_{0.01}U_{0.01}Ce_{0.01})_{Σ1.73}(Nb_{1.79}Ti_{0.16} Ta_{0.05})_{Σ2}O₆(F_{0.85}OH_{0.15}) с некоторым дефицитом в позиции А при расчёте на (Nb,Ti,Ta) = 2.

Коричнево-чёрный октаэдр пирохлора В-22 размером ~8 мм с тонкой периферической коричневой зоной ~1 мм из миаскит-пегматита жилы 5 на г. Каравай находился в калиевом полевом шпате и имеет с ним участки индукционных поверхностей сокристаллизации (рис. 7а). В сечении (110) основной объём пирохлора содержит многочисленные распадовые пластинки марганцовистого ильменита по {100}, а тонкая периферическая зона – без них (см. рис. 7б). В анализах по профилю ⊥(111) пирохлора выявлены вариации основных компонентов при содержании Nb₂O₅ 65.61–66.78 мас. % (табл. 3).

Tabla	1
Iuoie	1

Химическии	состав (м	ac. %) 30	н роста	пирохлор	a B-58 ((от центр	а к краі	iO)

=0 (

•

Chemical composition (wt. %) of growth zones of pyrochlore B-58 (from centre to rim)

Зоны	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	1	m	n
Na ₂ O	5.25	2.96	4.92	4.24	4.07	5.36	5.01	4.63	3.53	3.44	7.39	2.36	5.10	3.21
CaŌ	12.17	12.79	12.62	13.75	17.09	15.79	16.92	13.10	15.18	14.18	15.88	12.43	12.99	13.00
BaO	1.28	1.87	1.32	1.11	0.50	0.45	—	1.00	_	0.94	-	0.68	1.21	1.65
SrO	1.23	2.89	1.64	0.97	1.24	1.04	0.61	0.93	1.57	2.10	0.77	3.19	1.40	2.38
MnO	0.72	—	0.28	_	—	—	—	1.20	_	—	_	0.41	0.98	0.75
Ce ₂ O ₃	—	—	_	_	—	—	—	0.75	0.27	-	0.40	0.36	0.47	0.60
Y,0,	—	0.94	_	_	0.54	0.97	0.76	0.67	1.08	0.82	0.60	0.63	0.69	0.74
ThO,	0.66	0.99	0.99	1.12	0.84	1.06	1.35	1.02	1.03	1.27	1.19	1.37	0.93	1.06
UO,	1.36	0.45	1.55	1.86	0.52	0.59	0.57	0.83	0.59	-	-	_	0.80	0.33
Nb ₂ Õ ₅	57.94	64.29	60.60	58.87	62.52	62.24	60.50	58.57	64.71	62.36	64.01	61.66	61.08	60.26
Ta ₂ O ₅	1.64	2.16	2.27	1.72	1.33	1.49	_	_	1.81	1.47	_	_	—	_
TiÔ,	3.00	3.48	3.71	4.26	3.59	3.98	3.90	3.48	4.62	4.25	3.93	4.84	3.57	3.35
SiO	1.75	2.41	1.39	1.67	0.55	0.62	0.88	1.44	1.45	1.80	0.60	2.31	1.26	1.78
Al ₂ O ₃	0.45	0.54	0.32	0.38	0.38	0.45	0.38	_	0.27	0.30	-	0.38	0.31	0.51
Ē	2.17	1.39	2.06	1.91	1.97	1.90	1.83	1.92	2.09	2.07	3.13	1.01	1.95	1.92
H ₂ O*	0.65	0.90	0.30	0.10	0.10	0.15	0.05	0.30	0.80	0.45	1.10	0.70	0.10	0.25
Сумма	90.27 98.11 93.97 91.96 95.24 96.09 92.76 89.54 98.20 95.45 99.00 92.33 92.84 91.79													
Зоны	Эмпирические формулы на (Nb + Ti + Ta) = 2													
a	(□Ca	a _{0.90} Na _{0.70}	$Sr_{0.05}Mr$	$n_{0.04}Ba_{0.03}$	$U_{0.02}$ Th ₀	$_{.01})_{\Sigma 1.75}(S$	i _{0.12} Al _{0.04}	$_{4})_{\Sigma 0.16}$ (Nb	01.81 Ti _{0.16}	$Ta_{0.03})_{\Sigma 2}C$	$O_{6}(O_{0.53}F)$	_{0.47}) · n H	I ₂ O;	
b	(□Ca	$a_{0.85} Na_{0.36}$	Sr _{0.10} Ba	$_{0.05}Y_{0.03}T$	$h_{0.01}U_{0.01}$	$)_{\Sigma 1.41}(Si_0)$	$Al_{0.04}$	_{E0.19} (Nb ₁	₈₀ Ti _{0.16} Ta	$\left(1_{0.04}\right)_{\Sigma 2}\overline{O}_6$	$(O_{0.53}F_{0.2})$	OH _{0.2});	-	
с	(□Ca	$a_{0.88} Na_{0.62}$	Sr _{0.06} Ba	$_{0.04}$ Mn $_{0.02}$	U _{0.02} Th ₀	$_{.01})_{\Sigma 1.65}(S$	$Si_{0.09}Al_{0.0}$	$_{2})_{\Sigma 0.11}$ (Nl	$5_{1.78}$ Ti _{0.18}	$Ta_{0.04})_{\Sigma 2}$	$O_{6}(O_{0.48}F)$	0.42OH	₀);	
d	(□Ca	$a_{0.97} Na_{0.54}$	$_{4}Sr_{0.04}Ba$	$U_{0.03}U_{0.03}T$	$h_{0.02})_{\Sigma 1.63}$	$(Si_{0.11}Al$	$_{0.03})_{\Sigma 0.14}$	Nb _{1.76} Ti ₀	$_{21}$ Ta _{0.03}) ₂	$_{2}O_{6}(O_{0.5})$	₈ F _{0.40} OH	$(0.02) \cdot n F$	Ι ₂ Ο;	
e	(□Ca	$a_{1.17} Na_{0.50}$	$Sr_{0.05}Ba$	$_{0.01}Y_{0.02}T$	$h_{0.01}U_{0.01}$	$)_{\Sigma 1.77} (Si_0)$	$Al_{0.03}$	$_{E0.07}(Nb_{1.1})$	₈₁ Ti _{0.17} Ta	$(0.02)_{\Sigma 2}O_6$	$(O_{0.58}F_{0.4}$	$_{10}OH_{0.02}$;	
f	(□Ca	a _{1.07} Na _{0.60}	₆ Sr _{0.04} Ba	$_{0.01}Y_{0.03}T$	$h_{0.02}U_{0.01}$	$)_{\Sigma 1.84} (Si_0$	$Al_{0.03}$	$_{E0.07}(Nb_{1.7})$	₇₈ Ti _{0.19} Ta	$(0.03)_{\Sigma 2}O_6$	$(O_{0.59}F_{0.3})$	₈₈ OH _{0.03})	;	
g	(Ca _{1.2}	$_{20}Na_{0.64}S$	$r_{0.02}Y_{0.03}$	$\Gamma h_{0.02} U_{0.0}$	$_{1})_{\Sigma 1.91}(Si$	$_{0.06}Al_{0.03}$	$b_{\Sigma 0.09}(Nb_1)$	$_{1.81}$ Ti _{0.19})	$_{22}O_{6}(O_{0.6}$	$F_{0.38}OH$	$(0.01) \cdot n $	H ₂ O;		
h	(Ca _{0.9}	$_{0.62}$ Na $_{0.62}$ N	$\ln_{0.07} Sr_{0.07}$	$_{04}Ba_{0.03}Y$	$_{0.02}$ Ce $_{0.02}$	$Th_{0.02}U_{0.}$	$_{01})_{\Sigma 1.89} Si_{0}$	$_{0.10}(Nb_{1.8})$	$_{2}\text{Ti}_{0.18})_{\Sigma 2}$	$O_{6}(O_{0.58}$	$F_{0.42}) \cdot n$	H ₂ O;		
i	(□Ca	a _{0.98} Na _{0.4}	${}_{1}\mathrm{Sr}_{0.05}\mathrm{Y}_{0.05}$	$_{03}$ Th $_{0.01}$ U	$(_{0.01})_{\Sigma 1.49}($	$\operatorname{Si}_{0.09}\operatorname{Al}_{0.}$	$_{02})_{\Sigma 0.11}(N$	$b_{1.76} Ti_{0.2}$	$_{1}\mathrm{Ta}_{0.03})_{\Sigma 2}$	$O_{6}(O_{0.55})$	$F_{0.45}) \cdot n$	H ₂ O;		
j	(□Ca	a _{0.96} Na _{0.42}	$_{2}\mathrm{Sr}_{0.08}\mathrm{Ba}$	$_{0.02}Y_{0.03}T$	$h_{0.02})_{\Sigma 1.53}$	$(Si_{0.11}Al)$	$_{0.02})_{\Sigma 0.13}(1$	Nb _{1.77} Ti _{0.}	$_{20}$ Ta $_{0.03}$) ₂	$_{20}O_{6}(O_{0.5})$	${}_{0}F_{0.41}OH$	_{0.09}) · n F	Ι ₂ Ο;	
k	(Ca _{1.0}	$_{07}Na_{0.90}S$	$r_{0.03}Y_{0.02}$	$\Gamma h_{0.02})_{\Sigma 2.0}$	₄ Si _{0.04} (N	b _{1.81} Ti _{0.19}	$_{\Sigma_2}O_6(F_0)$	$O_{0.62}O_{0.38}$	\cdot n H ₂ O;					
1	(□Ca	a _{0.85} Na _{0.29}	Sr _{0.12} Ba	$_{0.02}$ Mn $_{0.02}$	$Y_{0.02}Th_0$	$_{.02})_{\Sigma 1.34}$ (S	$i_{0.15}Al_{0.05}$	$_{3})_{\Sigma 0.18}$ (Nb	$r_{1.77} Ti_{0.23}$	$O_{\Sigma 2}O_6(O_0)$	$F_{0.20}OI$	$(H_{0.15}) \cdot n$	H ₂ O;	
m	(□Ca	Na Na	Sr. Mr	1. Ba	Y _o Th	$U_{0,01}$	(Si	$Al_{0,02})_{50,1}$	(Nb,]	$(i_{0,10})_{5,0}$	(O_{0}, F_{0})) · n H	,0;	

 $\begin{array}{c} n \\ n \\ \hline \\ (\Box Ca_{0.94} Na_{0.42} Sr_{0.09} Ba_{0.04} Mn_{0.04} Y_{0.03} Th_{0.02} U_{0.01} \rangle_{\Sigma 1.60} (Si_{0.12} Al_{0.04})_{\Sigma 0.16} (Nb_{1.83} Ti_{0.17})_{\Sigma 2} O_6 (O_{0.59} F_{0.41}) + in H_2 O_{1.50} O_{1.5$

Примечание. Зона 140, керн. Анализы «**g**, **h**» – оксикальциопирохлор, «**k**» – фторкальциопирохлор, прочие – частично изменённый оксикальциопирохлор (см. рис. 5*a*, *б*). Здесь и далее: H₂O* – расчёт. Прочерк – не обнаружено. *Note.* Zone 140, drill core. Analyses «**g**, **h**» – oxycalciopyrochlore, «**k**» – fluorcalciopyrochlore, other analyses – partly

altered oxycalciopyrochlore (see Fig. 5*a*, δ). Here and hereafter: H₂O* is recalculated. Dash – not detected.



Рис. 6. Нодули ильменита (Ilm) с фторкальциопирохлором (Pcl) в кальците (Ca) карбонатита из карьера горы Долгой. а – общий вид агрегата; б – пирохлор-ильменитовые срастания (в центре – синтаксические). Отражённый свет. Здесь и далее: Pcl – пирохлор, Ilm – ильменит.

Fig. 6. Nodules of ilmenite (IIm) with fluorcalciopyrochlore (Pcl) in calcite (Ca) of carbonatite from the quarry of Mt. Dolgaya. a – general view of the aggregate; δ – pyrochlore-ilmenite aggregate (syntactic in the center). Reflected light. Here and hereafter: Pcl – pyrochlore, IIm – ilmenite.

				· ·	/				10											
№ ан.	р	v	u	t	q	№ ан.	р	v	u	t	q									
Na ₂ O	-	_	-	0.54	0.41	Eu ₂ O ₃	0.15	_	_	_	_									
CaO	5.32	5.80	7.06	0.11	0.18	Gd ₂ O ₃	1.72	0.94	_	_	_									
MgO	_	_	_	5.94	6.25	Dy ₂ O ₃	1.03	1.10	_	_	_									
MnO	1.62	1.53	_	9.68	8.22	Y,0,	4.21	5.11	_	_	_									
FeO	0.61	0.56	_	20.62	19.99	Nb ₂ O ₅	56.63	56.43	64.03	$\begin{array}{c ccccc} - & - & - \\ 0.36 & 0.90 \\ - & - \\ 0.19 & - \\ 22.34 & 20.9' \\ 28.33 & 28.6 \\ 88.11 & 85.5 \end{array}$										
La_2O_3	_	1.35	_	_	_	Ta ₂ O ₅	_	_	0.64	_	_									
Ce ₂ O ₃	4.70	6.46	_	_	_	TiO,	2.79	3.07	0.67	0.19	_									
Pr ₂ O ₃	1.69	2.06	_	_	_	SiO,	_	0.83	0.59	22.34	20.97									
Nd ₂ O ₃	5.30	4.63	_	_	_	Al ₂ O ₃	0.86	0.92	0.48	28.33	28.61									
Sm_2O_3	3.90	2.35	—	_	_	Сумма	90.53	93.14	73.47	88.11	85.53									
				Эм	ипириче	ские форм	іулы													
р	(Ca _{0.41} Y	$V_{0.16}$ Nd _{0.1}	$_{4}Ce_{0.12}Si$	$m_{0.10}Mn_{0.1}$	$_{0}\mathrm{Fe}_{0.04}\mathrm{Pr}_{0}$	$Gd_{0.04}$ Gd_0.04Dy	$_{0.02})_{\Sigma 1.17}$ Al	$l_{0.07}(Nb_{1.8})$	$_{5}Ti_{0.15})_{\Sigma 2}O$	6.53H2C);									
v	$(Ca_{0.45}Y)$	$C_{0.20}Ce_{0.1}$	$_{7}Nd_{0.12}S1$	$m_{0.06} Pr_{0.05} I$	Dy _{0.03} Gd	$_{0.02}$ Fe $_{0.03}$) _{$\Sigma 1.1$}	3Al _{0.08} (NI	$o_{1.85} Ti_{0.15}$	$\Sigma_{2}O_{6} \cdot 0.41$	H ₂ O;										
u	$Ca_{1.02}(A)$	$Al_{0.08}Si_{0.0}$	$_{8})_{\Sigma 0.16}$ (Nl	$5_{3.91} Ti_{0.07} T$	$(a_{0.02})_{\Sigma 4}O_{1}$	1.26 · 8.1H ₂ C);													
t	$(Mg_{0.79})$	Mn _{0.73} Fe	0.38Na	$Ca_{0.01})_{\Sigma 2}(A$	$Al_{2.99}Fe_{1.1}$	$_{16}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma 4.16}$	$Si_2O_{10}(OI$	$(H)_{1.67} \cdot 3.5$	H ₂ O;											
q	$(Mg_{0.89})$	Mn _{0.67} Fe	0 47 Na _{0 07}	$(Ca_{0,02})_{52,00}$	(Ala 21 Fe	e^{3+} 1 15) 54 36 Si	$O_{10}(OH)$	$_{18} \cdot 3.6 H$	$_{2}O$											

Химический состав (мас. %) минералов в прожилках, секущих пирохлор B-58 Chemical composition (wt. %) of minerals in the secant veins in pyrochlore B-58

Примечание. **р**, **v** – ферсмит, **u** – хошелагаит, **t**, **q** – вермикулит (?) с примесью гиббсита. Расчёт формул (**p**, **v**, **u**) на (Nb,Ti,Ta) = 2, (**t**, **q**) – на Si = 2.

Note. **p**, **v** – fersmite, **u** – hoshelagaite, **t**, **q** – vermiculite mixed with gibbsite. Formulas are recalculated to (Nb,Ti, Ta) = 2 (an. p, v, u) and Si = 2 (an. t, q).



Рис. 7. Зональный октаэдрический кристалл фторкальциопирохлора (а) с пластинками распада марганцовистого ильменита по {100}, периферической зоной без ильменита (б) и незакономерными вростками других минералов из жилы 5, г. Каравай.

Рутил (m, n), бадделеит (l), пирротин (o), ферсмит (q), бёмит (r), натролит (s), шамозит (t) и лимонит (p, u – по пирротину). BSE-фото. Кfs – калиевый полевой шпат, Eps – эпоксидная смола.

Fig. 7. Zonal octahedral crystal of fluorcalciopyrochlore (a) with lamellae of decay of Mn ilmenite along $\{100\}$, peripheral zone without ilmenite (6) and irregular ingrowths of other minerals from vein 5, Mt. Karavay.

Rutile (\mathbf{m} , \mathbf{n}), baddeleyite (\mathbf{l}), pyrrhotite (\mathbf{o}), fersmite (\mathbf{q}), böhmite (\mathbf{r}), natrolite (\mathbf{s}), chamosite (\mathbf{t}) and limonite (\mathbf{p} , \mathbf{u} – by pyrrhotite). Kfs – potassium feldspar, Eps – epoxy resin. BSE-photo.

МИНЕРАЛОГИЯ 4(3) 2018

Table 3

Химический состав (мас. %) фторкальциопирохлора В-22 из жилы 5

	,		ear comp	05111011 (1													
№ ан.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k						
Na ₂ O	6.70	6.07	5.22	3.58	5.13	5.79	6.50	6.28	6.16	7.24	7.00						
K ₂ O	-	-	_	0.32	-	_	-	-	-	-	-						
CaO	16.31	16.50	15.87	14.12	17.10	16.82	16.17	16.44	15.75	16.27	16.74						
SrO	0.95	0.77	1.37	1.95	1.07	0.80	1.16	1.10	0.78	0.57	0.51						
MnO	-	_	_	0.16	_	0.12	_	_	0.01	_	_						
FeO	-	_	0.23	0.05	_	0.14	-	_	0.31	-	_						
La_2O_3	0.32	0.32	0.53	0.31	0.35	0.45	0.24	0.34	0.28	_	_						
Ce ₂ O ₃	0.48	0.64	0.65	0.95	0.70	0.54	0.47	0.60	0.51	0.38	0.24						
Pr ₂ O ₃	0.23	0.30	0.04	0.30	0.37	0.10	0.34	0.17	0.36	_	_						
Nd_2O_3	0.30	0.20	0.39	0.27	0.22	0.45	0.30	0.26	0.45	-	-						
Dy_2O_3	_	_	_	0.21	_	—	_	_	_	_	_						
Y_2O_3	0.60	0.40	0.30	0.25	0.55	_	0.55	0.50	0.25	-	-						
Sc_2O_3	-	0.27	0.32	0.22	0.36	0.26	0.28	-	0.32	-	-						
Nb_2O_5	66.15	66.48	66.30	66.27	66.78	66.05	66.54	65.78	65.85	65.61	65.79						
Ta ₂ O ₅	1.36	1.19	0.99	1.41	1.07	1.09	0.97	0.72	1.27	0.99	1.05						
TiO ₂	4.43	4.17	4.55	5.20	4.61	4.59	4.49	4.91	6.29	3.43	3.10						
V_2O_5																	
ZrO_2	0.69 0.26																
SiO_2	-	-	_	1.15	-	-	-	-	-	- -							
Al_2O_3	-	-	_	0.44	0.03	-	-	0.08	0.16	-	-						
F										4.65	4.64						
Сумма	97.83	97.31	97.62	98.02	98.34	97.20	98.01	97.18	98.75	99.12	99.08						
№ ан.		-		Расчётн	ные форм	улы на (М	Vb + Ta +	Ti) = 2									
a	$\left \left(\mathrm{Ca}_{1.04}\mathrm{Na}\right)\right $	$a_{0.77}Sr_{0.03}Y$	0.02 REE	$)_{\Sigma 1.89} (Nb_{1.7})$	$_{78}$ Ti _{0.20} Ta _{0.00}	$_{02})_{\Sigma 2}O_{6.43}F$	x;										
b	$\left \left(\mathrm{Ca}_{1.05}\mathrm{Na}\right)\right $	$a_{0.70} Sr_{0.03} Y$	0.01 REE	$_{\Sigma_{1.82}}(Nb_{1.7})$	$_{79}$ Ti _{0.19} Ta ₀	$_{02})_{\Sigma 2}O_{6.43}F$	x;										
c	$ (Ca_{1.01}Na) $	$a_{0.60} Sr_{0.05} Y$	$\int_{0.01} Fe_{0.01} R$	$EE_{0.03}Zr_{0.02}$	$_{2})_{\Sigma 1.73}(Nb_{1})$.78 Ti _{0.20} Ta ₀	$_{.02})_{\Sigma 2}O_{6.40}F$	x'									
d	$ (Ca_{0.88}Na) $	$a_{0.48} Sr_{0.07} R$	$EE_{0.05}K_{0.02}$	$Sc_{0.01}Y_{0.01}$	$Mn_{0.01}Zr_{0.01}$	$_{01})_{\Sigma 1.54}(Si_{0.}$	$_{07}Al_{0.03})_{\Sigma 0.}$	$_{10}(Nb_{1.75}T)$	$i_{0.23}$ Ta $_{0.02}$) ₂	$_{2}O_{635}F_{x};$							
e	$\left \left(\mathrm{Ca}_{1.08}\mathrm{Na}\right)\right $	$a_{0.59} Sr_{0.04} R$	$EE_{0.04}Y_{0.02}$	$Sc_{0.01})_{\Sigma 1.78}$	$(Nb_{1.78}Ti_0)$	$_{20}$ Ta $_{0.02}$) $_{\Sigma 2}$ G	$D_{6.42}F_{x};$										
f	$\left \left(\mathrm{Ca}_{1.07}\mathrm{Na}\right)\right $	$a_{0.67} Sr_{0.03} R$	$EE_{0.03}Sc_{0.0}$	$_{1}Mn_{0.01}Fe$	$_{0.01})_{\Sigma 1.83}$ (N	$b_{1.78} T i_{0.21} T$	$(a_{0.01})_{\Sigma 2}O_{6.4}$	$_{\mu}F_{x};$									
g	$ (Ca_{1.03}Na) $	$a_{0.75} Sr_{0.04} R$	$EE_{0.04}Y_{0.02}$	$Sc_{0.01})_{\Sigma 1.89}$	$(Nb_{1.78}Ti_0)$	$_{20}$ Ta $_{0.02}$) $_{\Sigma 2}$ G	$D_{6.23}F_{x};$										
h	$ (Ca_{1.05}Na) $	$a_{0.72}Sr_{0.04}R$	$EE_{0.03}Y_{0.02}$	$_{\Sigma 1.86} Al_{0.01}$	$(Nb_{1.77}Ti_{0})$	$_{22}$ Ta _{0.01}) ₂₂ G	$D_{6.41}F_{x};$										
i	$ (Ca_{0.97}Na) $	$a_{0.69} Sr_{0.03} R$	$EE_{0.04}Sc_{0.0}$	$Y_{0.01}Fe_{0.0}$	$_{1})_{\Sigma 1.87} Al_{0.0}$	$(Nb_{1.77}Ti_{0})$	$_{0.22}$ Ta $_{0.01}$) ₂₂	$O_{6.32}F_{x};$									
j	$ (Ca_{1.07}Na_{1.07$	$a_{0.86} Sr_{0.02}$	$(Nb_{1.82})$	Гі _{0.16} Та _{0.02})	${}_{\Sigma 2}O_6(F_{0.90})$	O _{0.10});											
k	$ (Ca_{1,1}Na_{1,1}) $	$a_{0.84}Sr_{0.02}$	$201(Nb_{1.84})$	$(i_{0,14}Ta_{0,02})$	$_{52}O_6(F_{0.91})$	$(\rho_{0,0}C)$											

Chemical composition (wt. %) of fluorcalcionvrochlore B-22 from vein 5

Примечание. Ан. **«а–і»** – СЭМ РЭММА-202М (F не определялся), ан. **«j, k»** – СЭМ Tescan Vega3. *Note*. Analyses **«а–і»** – SEM REMMA-202M (F not analyzed), analyses **«j, k»** – SEM Tescan Vega3.

В ряде анализов есть нехарактерные для пирохлора примеси Si, Al, Fe, Mn, V и Zr, обусловленные наличием микровключений и тонких жил других минералов. Так, в процессе анализа в пирохлоре были обнаружены включения гафнийсодержащего бадделеита ($Zr_{0.85}Hf_{0.10}Nb_{0.03}Ti_{0.02}O_{2.}$ (с примесью Nb и Ti от «подложки») и неоднородного (возможно, секториального) Nb-Fe-содержащего рутила («ильменорутила») состава ($Ti_{0.76}Nb_{0.13}Fe_{0.11}O_2 - (Ti_{0.83}Nb_{0.09}Fe_{0.08})O_2$ (см. рис. 7в). Включения пирротина почти полностью замещены лимонитом, образующим агрегат с шамозитом, на который нарос расщеплённый ферсмит ($Ca_{1.09}Ce_{0.01}$)($Nb_{1.88}Ti_{0.12}$) $_2O_{6.11}$ размером до 100 мкм с последующим выполнением прожилка натролитом с бёмитом (см. рис. 7г).

Эпигенетические изменения пирохлора Вишнёвых гор

Большинство исследованных кристаллов пирохлора рассечено тонкими трещинками и изменено наложенными процессами с неоднородными по составу картинами, нередко осложнёнными из-за неидеального сечения, отклоняющегося от физического центра кристалла. Редко встречаются зёрна пирохлора, где сохранился исходный состав. Зональные и пятнистые неоднородности в зёрнах пирохлора обычно представляют собой тонкие (наноразмерные) полиминеральные смеси оксидов, водосодержащих силикатов и других минералов,



Рис. 8. Картины неоднородностей состава зонального кристалла пирохлора с вростками аннита и секущими трещинками (а) и кристаллов, изменённых с периферии и около трещин (б–е).

а-в – Курочкин Лог, жила 2; г – карьер г. Долгой, горизонт 360 м; д, е – Курочкин Лог, жила 1. Здесь и далее: Вt – аннит, Мt – магнетит, Ар – фторапатит, Ttn – титанит, Kfs – калишпат, Ab – альбит. BSE-фото.

Fig. 8. Heterogeneous zonal pyrochlore crystal with annite ingrowths and fractures (a) and crystals altered from the periphery and near fractures (6-e).

a-B – Kurochkin Log, vein 2; r – quarry of Mt. Dolgaya, horizon 360 m; $dar{a}$, e – Kurochkin Log, vein-1. Here and hreafter: Bt – annite, Mt – magnetite, Ap – fluorapatite, Ttn – titanite, Kfs – potassium feldspar, Ab – albite. BSE-photo.

обусловливающих примеси (Si, Al, Mn, K и др.) и вариации суммы в анализах. Рассмотрим это на ряде примеров.

В пегматите верхней линзы Курочкина Лога (жила 2) пирохлор встречается в агрегате с полевыми шпатами, канкринитом, эгирином, аннитом, анальцимом, фторапатитом, цирконом и магнетитом. Исследованный нами вросток фторкальциопирохлора B-1 размером ~9 мм в магнетите характеризуется сменой формы от тетрагонтриокаэдра к комбинации его с октаэдром, сингенетичными включениями аннита (в переходной зоне) и многочисленными тонкими прожилками силикатов (рис. 8а). В переходной зоне, судя по сечению зерна, пирохлор имел бугры и блоки многоглавого роста. Внутренняя (основная) часть кристалла содержит

МИНЕРАЛОГИЯ 4(3) 2018

несколько больше Na, Sr и REE при меньших – Nb и Та и суммы анализа по сравнению с последующей блочной зоной (табл. 4, обр. В-1); в анализах есть небольшая примесь SiO₂.

Кристалл В-7 из Курочкина Лога – богатый U и Ті оксикальциопирохлор (см. рис. 86 и табл. 4, **f**) в агрегате с титанитом, магнетитом и полевым шпатом – изменён с периферии и около трещин и содержит вростки титанита и фторапатита. Участки изменения в пирохлоре (см. табл. 4, **g**, **i**) характеризуются меньшими содержаниями оксидов Са и U, вариациями ряда других элементов и существенно меньшей суммой в анализах. Один из этих анализов (**g**) можно рассматривать как урансодержащий ферсмит, однако продукты изменения оксикальциопирохлора требуют доизучения более детальными

4	
блица	
Tat	

56

Химический состав (мас. %) зон изменения пирохлора в пегматитах Вишнёвых гор

			-	Chemic:	al comp	osition	(wt. %)	of alter	ation z	ones of I	oyrochlo	re in pe	gmatites	of the Vis	shnevye N	Iountain	S		lable 4
Ä	₫ oбp.		B-1			ġ	L-			B-3			ш	3-6			17-86		17-8a
~	№ ан.	c	q	e	f	50	h	i		k	I	m	u	0	d	L	s	t	n
	Va,O	6.46	6.13	6.24	4.48			I	2.07	1.36	I	0.87	4.0	0.41	6.73	4.06	I	I	I
-	K,0	I	I	I	I	I			0.35	Ι	I	0.27	0.34	0.20	I	Ι	I	Ι	Ι
<u> </u>	CaO	14.55	14.95	15.72	11.37	3.90	6.73	7.21	3.35	2.63	2.78	7.66	11.15	8.71	16.55	10.89	4.06	5.44	4.01
	MnO			I	I	I		I	0.66	0.40	0.63	I	I	0.42	I	I	I	I	I
H	FeO	I	I	I	I	0.38	2.16	1.29	1.80	1.50	I	2.29	I	1.18	I	0.44	0.85	1.03	0.45
	SrO	0.60	0.30	0.39	0.38	0.88	2.54	1.38	0.95	0.84	1.71	4.68	1.26	4.56	I	Ι	I	Ι	0.66
Г	a2O3	1.53	0.83	1.36	Ι	Ι	I	I	0.40	Ι	I	0.98	0.49	0.74	0.57	I	I	I	I
0	e_2O_3	3.48	2.19	2.58	0.32	0.92	1.22	1.13	1.02	1.09	1.62	2.93	1.29	1.29	1.23	I	0.47	1.17	Ι
Z	Id_03	I	I	0.72	I	I	I	I	0.31	I	I	I	I	Ι	0.43	I	Ι	Ι	Ι
L	ThO ₂	4.54	6.87	4.56	Ι	3.33	4.45	1.25	0.89	2.76	3.40	I	0.89	0.88	0.89	Ι	Ι	Ι	Ι
		I	I	Ι	26.65	18.88	14.11	2.12	1.06	8.43	4.32	0.57	0.75	0.53	Ι	25.61	24.74	14.33	44.37
Z	$lb_2 \tilde{O}_5$	50.72	51.79	53.35	33.55	40.83	31.13	33.23	48.01	37.94	52.38	45.67	60.65	48.11	61.61	30.60	29.57	31.26	25.48
E	a ₂ 05	0.54	2.71	2.76	2.81	2.27	2.34	4.80	0.63	2.18	1.67	2.47	3.09	4.14	3.21	1.64	1.54	1.92	Ι
<u> </u>	TiO ₂	8.24	8.72	8.95	15.37	13.60	13.63	20.96	8.02	8.71	9.14	4.18	4.61	5.01	5.14	15.38	13.72	12.15	4.00
	SiO2	0.32	0.59	0.67	0.85	0.40	6.79	7.07	6.67	7.86	0.55	9.46	2.05	9.43	Ι	0.35	0.58	5.20	2.92
4	M ₂ O ₃			I	I	I	0.50	0.24	2.19	2.29	2.74	2.43	I	0.95	I	I	I	0.26	0.78
	ц	3.61	3.50	3.14	0.94	I	I	I	I	I	I	I	2.42	I	3.22	I	I	I	I
Q,	умма	94.59	98.58	100.44	96.72	85.39	85.60	80.68	78.38	77.99	80.94	84.46	92.99	86.56	99.58	88.97	75.53	74.61	82.67
Å			Расч	ётные фс	I IAILYMAC	Ha (Nb,Ti	i,Ta) = 2			Ň			Pac	счётные ф	ормулы на	(Nb,Ti,Ta	1) = 2		
c	$(Ca_{1.07}N)$	a0.86REE	${\rm Th}_{0.07}{\rm S}$	$r_{0.02})_{\Sigma 2.15}S$	$i_{0.02}(Nb_{1.2})$	$_{57}{\rm Ti}_{0.42}{\rm Ta}_0$	0.01) ₂₂ O _{6.22}	$F_{0.78}$ ·nH ₂ (;	р	$(Ca_{1.04}N\epsilon)$	$a_{0.77} Th_{0.10} F$	EE _{0.07} Sr _{0.0}	$_{1})_{\Sigma 1.99}\mathrm{Si}_{0.04}($	Nb _{1.52} Ti _{0.43} T	$[a_{0.05})_{\Sigma 2}O_{6.2}$	²⁸ F _{0.72} ·nH ₂ O;		
e	$(Ca_{1.07}N)$	$[a_{0.77}Th_{0.0}]$	7 REE _{0.11}	$r_{0.01}$ $r_{0.01}$ $r_{0.99}$	$\mathrm{Si}_{0.04}(\mathrm{Nb}_1$.53 Ti _{0.43} Ta	0.05) ^{22.01} O	${}^{\rm 6.37}{\rm F}_{0.63}{}^{\rm \cdot nl}$	$H_2O;$	f	$(Ca_{0.89}N\varepsilon$	$a_{0.63}U_{0.43}S_{1}$	$(0.02 Ce_{0.01})_{\Sigma_1}$	$^{1.08}{\rm Si}_{0.06}{\rm (Nb}$	$_{1.10}\mathrm{Ti}_{0.84}\mathrm{Ta}_{0.0}$	$_{06})_{\Sigma 2}O_{6.78}F_{0}$	\cdot_{22} ·nH ₂ O;		
60	(□Ca _{0.29}	U _{0.29} Th _{0.1}	${}_{\scriptscriptstyle 35}\mathrm{Sr}_{\scriptscriptstyle 0.03}\mathrm{Fe}_{\rm c}$	$Ce_{0.02}Ce_{0.02}$	0.70 Si _{0.03} (1	Nb _{1.26} Ti _{0.7}	$_{70}^{7} Ta_{0.04})_{\Sigma 2}$	$O_{6.05} \cdot nH_2$; Ċ	Ч	$(Ca_{0.58}U_0$	$^{125}{\rm Fe}_{0.14}{\rm Sr}$	0.12 Th _{0.08} Ce	$(0.04)_{\Sigma 1.21}(Si_0)$	$(54 \text{Al}_{0.05})_{\Sigma 0.59}$	(Nb _{1.13} Ti _{0.1}	${}_{82}{}^{Ta_{0.05})_{\Sigma 2}O_{7.}}$	$_{56}\cdot nH_2O;$	
•=	(□Ca _{0.48}	${}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{Fe}_{0.07}}\mathrm{Sr}_{0.07}$	₀₅ Ce _{0.03} U ₍	1.03 Th _{0.02}) _{Σ}		$\mathrm{Al}_{0.02})_{\Sigma 0.46}$	(Ti _{0.98} Nb ₍	$_{0.94}$ Ta $_{0.08}$)		.Ľ	(□Na _{0.29} (²² 0 ₆₇₇ n	Ca _{0.26} Fe _{0.11} H ₂ O;	REE _{0.05} Mn	${}^{0.04}\mathrm{Sr}_{0.04}\mathrm{K}_{0.03}$	$U_{0.02}$ Th _{0.01}) ₂₀	$_{0.85}(\mathrm{Si}_{0.48}\mathrm{Al}_{0}$	1.18) _{20.66} (Nb _{1.56}	Ti _{0.43} Ta _{0.01})	
k	$\left[(\Box Ca_{0.23}, \Box_{0.23}, \Box_{0.23$	Na _{0.22} U _{0.1} H,O;	$_{5}\mathrm{Fe}_{0.10}\mathrm{Th}_{0}$	₀₅ Sr _{0.04} Ce	0.03 Mn _{0.03})	20.85 (Si _{0.65} ,	Al _{0.22}) _{20.87} ((Nb _{1.41} Ti _{0.}	₅₄ Ta _{0.05})	-	(□Ca _{0.19} \$	Sr _{0.06} U _{0.06}	$[h_{0.05}Ce_{0.04}]$	$Mn_{0.03})_{\Sigma 0.43}$	$Al_{0.21}Si_{0.04})_3$	^{E0.25} (Nb _{1.53}	$\Gamma_{0.44}^{i} Ta_{0.03}^{i}$	O _{5.80} ·nH ₂ C	÷
ш	(Ca _{0.67} S	${}_{\mathrm{M}_{22}}^{\mathrm{F}}\mathrm{Fe}_{0.16}$	$Na_{0.14}RE$	$E_{0.12}K_{0.03}l$	$J_{0.01})_{\Sigma 1.35}($	$\mathrm{Si}_{0.77}\mathrm{Al}_{0.2}$	3) _{Σ1.0} (Nb ₁	. ₆₉ Ti _{0.26} Ta	(_{0.05})	п	(Ca _{0.75} Na	$1_{0.49} Sr_{0.05} R$	$EE_{0.04}K_{0.03}$	$U_{0.01}$ Th _{0.01}).	s1.38Si _{0.13} (Nł	0 _{1.73} Ti _{0.22} Ta	l _{0.05}) _{Σ2} O _{6.32} F ₍	$_{48}$ \cdot nH ₂ O;	
0	$(Ca_{0.70}Sr_0$ $\Sigma_{1.99}O_{7.58}$.	$^{120}_{-20}\mathrm{Fe}_{0.07}\mathrm{Ni}$	$\mathbf{a}_{0.06}\mathrm{REE}_{0.0}$	${}_{6}\mathrm{Mn}_{0.03}\mathrm{K}_{0.03}$	₀₂ U _{0.01} Th	$(0,0)_{\Sigma 1.16}(Si_{0})$	$1.71 \mathrm{Al}_{0.08}$	T ₆₃₁ (Nb _{1,63} T	$i_{0.28} Ta_{0.08}$	d	(Ca _{1.09} Na	1 _{0.80} REE _{0.(}	$_{5}{\rm Th}_{0.01})_{\Sigma1.95}$	(Nb _{1.71} Ti _{0.2}	⁴ Ta _{0.05}) _{Σ2} O ₆ .	$_{47} \mathrm{F}_{0.63;}$			
r	$(Ca_{0.90}U_{0}$.44Na _{0.61} F	$(e_{0.03})_{\Sigma 1.98}$	i _{0.03} (Nb _{1.(}	$_{\rm 77}{\rm Ti}_{0.90}{\rm Ta}_{\rm 0}$).03) ₂₂ O _{7.17}	\cdot nH ₂ O;			s	$(U_{0.46}Ca_0$	$_{136}\mathrm{Fe}_{0.06}\mathrm{Ce}$	$(0.01)_{\Sigma 1.96} Si_{0.01}$	05(Nb1.11 Ti	^{1.86} Ta _{0.03}) _{Σ2} O	0.48 nH20			
t	$(Ca_{0.49}U_0$	$^{1.27}Ag_{0.08}I$	e _{0.07} Ce _{0.02}	$\sum_{\nu_{20.95}} (Si_{0.4})$	$^{14}\mathrm{Al}_{0.03})_{\Sigma 0}$	² ^{61.1} dN) ⁷⁴	Γi _{0.77} Ta _{0.04}	U ₂₂ O _{6.99} ·π	$H_2O;$	n	$(Ca_{0.59}U_0$	₁₃₆ Sr _{0.05} Fe	0.05) _{21.05} (UC	$(2)^{(2)}(Si_{0.40}Al)$	$(Nb_1)_{\Sigma 0.53}$		0 ₉₂ ·nH ₂ O		
	Приме ¹ Note. A	<i>чание. </i>	Анализ « «t» cont	<pre><t> coдe ains 1.8</t></pre>	ржит 1. 5 wt. %	85 Mac. $Ag_2O.$	$\% Ag_2C$	Ċ											

Попова В.И., Попов В.А., Блинов И.А., Котляров В.А.

МИНЕРАЛОГИЯ 4(3) 2018

методами; возможно, это наноразмерные минеральные смеси.

В более изменённых кристаллах пирохлора проявлена только наложенная зональность с несколькими диффузионными зонами разного состава и толщины (см. рис. 8в-е). Так, в кристалле пирохлора В-3 из жилы 2 Курочкина Лога от периферии к центру проявлены три округлых зоны шириной до 0.05-0.1 мм (см. рис. 8в, точки l, k, j), в которых есть ещё более тонкие прерывистые зоны. Состав зон изменения характеризуется дефицитом в позиции A и существенными примесями Si и Al (см. табл. 4, обр. В-3). Периферическая зона (I) выделяется повышенными содержаниями оксидов Sr, Ce, Th, U, Nb, Ti и Al, но меньшими – Ca, Si, Si и практически не содержит Na и Fe по сравнению с центральной зоной (j), а промежуточная зона (k) наиболее обогащена U, Si и Ta при пониженном -Nb. Вероятно, это также наноразмерные минеральные смеси новообразованных минералов с реликтами пирохлора.

Из пегматита на г. Долгой в северо-западном борту карьера «Надежда» с горизонта 360 м исследован пирохлор в агрегате с титаномагнетитом, ильменитом, аннитом, мусковитом и более поздними цеолитами. В сечении кристалла размером ~0.6 мм проявлены восемь зон разной толщины (см. рис. 8г). Состав наиболее контрастных (в BSE) зон отличается содержаниями ряда оксидов и F (см. табл. 4, обр. В-6). Участок периферической зоны (**р**) наиболее «чист» по составу и относится к фторкальциопирохлору, а внутренние зоны кристалла содержат меньше Na, Ca и Nb, но обогащены Sr и REE при меньшей сумме анализа (возможно, в результате частичного развития водных алюмосиликатов Sr). Зона (n) по составу частично близка фторкальциопирохлору периферической зоны, но отличается меньшими содержаниями оксидов Na, Са, Nb, F и наличием U и Si. Состав центральной части кристалла (**m**) близок зоне (**o**), но, возможно, включает новообразования водных алюмосиликатов (цеолитов) и Sr-содержащих карбонатов. Необычно, в целом, что зоны в кристалле перемежаются по составу «волнообразно», возможно, отражая его первичную неоднородность.

Интересными оказались гидратированные высокоурановые оксикальциопирохлоры из жилы 1 Курочкина Лога (см. рис. 8д, е; табл. 4, обр. 17-8б). В результате метамиктного превращения с увеличением объёма кристалла как в пирохлоре, так и во вмещающих его полевых шпатах образовались трещины, микрополости которых выполнены продуктами изменения пирохлора. Преобладающая часть кристалла оксикальциопирохлора содержит 25.61 мас. % UO₂ и небольшую примесь SiO₂; анализ (s) по составу отвечает гидратированному оксиуранопирохлору. Участки анализа (t-u) существенно изменены с повышенным содержанием SiO₂, причём в участке анализа (**u**) с содержанием UO_2 44.37 мас. % возможны нанозёрна уранинита. Во всех анализах зон замещения при низкой их сумме наиболее заметны меньшие содержания оксидов Ca, U и Ti и повышенные — Si, Fe и Ce, особенно в зоне (t).

Повышенные содержания Ba, Sr, Fe, REE, Y и Si выявлены в участках замещения частично гидратированного фторкальциопирохлора B-50 из пегматита в рудной зоне 125. В сечении (001) октаэдрического кристалла размером ~5 мм около тонких трещин вблизи периферии образовались овальные в плане микрозернистые агрегаты Sr- и Ba-содержащих силикатов и карбонатов (рис. 9, табл. 5) с реликтами пирохлора. Среди новообразований наиболее вероятны церит, доннейит-(Y), анкилит-(Ce), стронцианит, бурбанкит, а также карбонаты и гидросиликаты Ba.



Puc. 9. Пятнисто-зональная текстура наложенных изменений пирохлора (а – вид зерна, б, в – детали). BSE-фото. *Fig. 9.* Spotty-zonal structure of late alteration of pyrochlore (a – view of grain, б, в – details). BSE-photo.

Химический состав (мас. %) фторкальциопирохлора B-50 (а) с участками замещения (b, d) *Table 5*

				1	- (,		1	•		()				()	,	
№ ан.	Na ₂ O	CaO	BaO	SrO	FeO	MnO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	Nb ₂ O ₅	TiO ₂	SiO ₂	F	Сумма
a	6.45	15.24	0.11	1.20	-	_	0.32	0.72	0.15	0.75	0.51	0.90	60.58	4.98	-	2.86	94.77
b	0.43	5.40	12.09	3.85	1.27	0.38	0.99	1.88	_	1.10	1.06	0.79	54.46	4.97	5.87	_	94.54
d	0.47	8.30	9.75	4.93	1.98	0.33	1.00	1.07	_	0.86	0.75	0.74	53.30	4.61	5.90	1.22	95.21
						Эм	пириче	ские фо	ормуль	1 на (N	Jb + T	i = 2)					
a	$(Ca_{1.05}Na_{0.80}Sr_{0.04}Y_{0.03}U_{0.02}Ce_{0.02}La_{0.01}Th_{0.01})_{\Sigma 1.99}(Nb_{1.76}Ti_{0.24})_{\Sigma 2}O_{6}(F_{0.58}O_{0.51}) \cdot nH_{2}O;$																
b	(Ca _{0.41}]	Ba _{0.33} Sr	$F_{0.16}Fe_{0.0}$	$_{7}Mn_{0.02}$	$Y_{0.04}$	Ce _{0.05} La	_{0.03} Th _{0.02}	$U_{0.01})_{\Sigma 1.}$	$_{14}Si_{0.41}($	Nb _{1.74} 7	$(i_{0.26})_{\Sigma 2}$	O ₆ (O,	OH) _{0.97} ·	n(CO ₃ ,1	H ₂ O);		
d	(Ca _{0.65} 1	Ba _{0.28} Na	$a_{0.07}Sr_{0.2}$	$_{21}$ Fe _{0.12}	Mn _{0.02}	Y _{0.03} Ce	$e_{0.03}La_{0.03}$	3Th _{0.01} U	$_{0.01})_{\Sigma 1.46}$	$Si_{0.43}(N$	Vb _{1.75} T	$i_{0.25})_{\Sigma 2}$	D ₆ (O,OH	$(1)_{1.23}F_{0.18}$	$_{\rm B} \cdot n({\rm CO})$	O ₃ ,H₂C))

Chemical composition (wt. %) of fluorcalciopyrochlore B-50 (a) with alteration areas (b, d)

Примечание. Рудная зона 125.

Note. Ore zone 125.

Обсуждение результатов и выводы

Пирохлор является характерным минералом магматических образований Вишневогорского щелочного комплекса. Его качество и количество в разных минеральных телах изменчиво и местами достигает промышленных значений. В некоторых мелких жилах содержание пирохлора достигает первых десятков процентов площади сечения жил. В технологическом отношении важны данные о парагенезисах пирохлора, его составе, величине индивидов, изменениям в процессе онтогенеза. Наши исследования и данные Э.М. Бонштедт-Куплетской (1951) не подтверждают метасоматический генезис пирохлора. В изученных нами образцах и препаратах не обнаружены признаки замещения пирохлором соседних минералов, т.е. индивиды пирохлора частично или полностью одновременны с гипогенными минералами сиенитов, карбонатитов, слюдитов и их пегматитов.

В исследованных образцах установлены признаки совместного одновременного роста пирохлора с полевыми шпатами, нефелином, аннитом, эгирином, амфиболами, канкринитом, анальцимом, кальцитом, ильменитом, магнетитом, титанитом, рутилом, цирконом, цирконолитом, бадделеитом, пирротином, гесситом и паризитом-(La). Таким образом, нет оснований говорить о метасоматическом развитии пирохлора как существенном процессе в образовании минеральных агрегатов на месторождении, что предполагал А.Г. Жабин (1966) и что частично указывалось в работе Е.М. Еськовой с соавторами (1964).

Опубликованные данные (Бонштедт-Куплетская, 1951; Еськова и др., 1964; Левин и др., 1997; и мн. др.), а также новые результаты исследований показали, что минералы группы пирохлора в Вишнёвых горах разнообразны по составу и могут быть отнесены к разным минеральным видам. К настоящему времени, согласно новой номенклатуре минералов группы пирохлора (Atencio et al., 2010), в Вишнёвых горах установлены оксикальциопирохлор, фторкальциопирохлор, гидрокальциопирохлор, гидроксикальциопирохлор, оксиуранопирохлор, гидроуранпирохлор и гидрокальциобетафит.

Значительная часть пирохлора изменена наложенными процессами с распадом твёрдого раствора, метамиктными превращениями, метасоматозом с образованием полиминеральных нанозернистых псевдоморфоз и деформациями с развитием сети трещин, выполненных более поздними минералами. Признаки увеличения объёма пирохлора у изменённых с периферии зёрен и вдоль трещин («венчики» трещин и микроскладчатость в окружающих минералах) свидетельствуют о появлении избыточного капиллярного давления при метасоматозе.

Возможно, при метасоматозе в нанозернистых минеральных агрегатах возникает и тончайшая пористость. Изменение (увеличение) пористости в минеральных агрегатах при метасоматозе – обычное явление, но изученное только для макрозернистых и микрозернистых агрегатов. По аналогии с микрозернистыми агрегатами, оно может присутствовать и в нанозернистых агрегатах и может сказаться на дефиците суммы анализов.

В большинстве изменённых образцов среди метасоматических новообразований наиболее часты ферсмит, альбит, цеолиты и, предположительно, карбонаты и гидрокарбонаты РЗЭ, Sr и, реже, Ba. В высокотитанистом пирохлоре встречены распадовые пластинки ильменита, а в изменённом высокоурановом пирохлоре возможны нанозёрна собственно уранинита. Зёрна пирохлора рассечены трещинками с ферсмитом, хошелагаитом, цеолитами, альбитом, гиббситом, кальцитом и другими минералами. Микро- и нанозернистые псевдоморфозы по пирохлорам иногда трудно отличаются от первичных кристаллов в отражённом свете или на BSE-снимках. Это создаёт сложности при диагностике минеральных видов и интерпретации их относительного возраста.

По данным BSE-снимков и состава изменённых пирохлоров сложно судить о количественном привносе-выносе или перераспределении элементов, т.к. нет полной картины их первичного распределения в исследованных крупных кристаллах. Лишь наличие примесей Si, Al, Fe, Mn и других указывает на появление алюмосиликатов в нанозернистой массе новообразованного агрегата. Возможно, дефицит суммы анализа в таких случаях нельзя полностью отнести за счёт воды. В ряде образцов были впервые встречены анкилит-(La), гессит, паризит-(La), а также ранее не отмечавшийся рихтерит почти без F (Кобяшев и др., 1998).

Полученные нами дополнительные данные о пирохлоре и его ассоциациях в щелочных пегматитах Вишнёвых гор могут быть полезны для генетических и технологических разработок этого ещё неполностью отработанного комплексного месторождения.

Исследования выполнены в рамках госбюджетной темы АААА-А17-1/17020250032-1.

Литература

Амеландов А.С. (1929) Материалы к познанию нефелиновых пегматитов Каслинского района на Урале. *Изв. Геол. ком.*, **48**(6), 148–155.

Амеландов А.С. (1931) Промышленная оценка Вишневогорского месторождения полевого шпата. Известия Главного геолого-развед. управления, **50**(43), 685–706.

Бонштедт-Куплетская Э.М. (1951) Минералогия щелочных пегматитов Вишнёвых гор. М., АН СССР, 176 с.

Еськова Е.М. (1959) К геохимии Nb и Ta в массивах нефелиновых сиенитов Вишнёвых гор. *Геохимия*, (2), 130–139.

Еськова Е.М., Назаренко И.И. (1960) Пирохлор Вишнёвых гор, его парагенетические ассоциации и особенности химического состава. *Труды ИМГРЭ*, **4**, 33–50.

Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н. (1964) Минералогия и геохимия редких элементов Вишнёвых гор. М., Наука, 319 с.

Ефимов А.Ф., Лебедева С.И., Левин В.Я. (1985) Типохимизм акцессорного пирохлора в породах щелочного комплекса Урала. *Геохимия*, (2), 201–208.

Жабин А.Г. (1966) Метакристаллы и критерий относительного идиоморфизма минералов. В кн.: Генезис минеральных индивидов и агрегатов (онтогения минералов). М., Наука, с. 34–50.

Иванов А.А., Боровский И.Б., Ярош И.А. (1944) Пирохлор Вишнёвых гор на Урале. *Записки ВМО*, **73**(1), 56–58.

Исаков М.Г. (1940 ϕ) Окончательный отчёт по разведке цирконовых россыпей и поискам коренных месторождений циркона и редкоземельных минералов на Вишнёвых и Потаниных горах (Средний Урал) в 1937– 1940 гг. Книга 1. Свердловск, Союзредметразведка, Вишневогорская ГРП, 213 с.

Исаков М.Г., Сенников Ф.А., Водопьянов В.Д. (1950ф) Подсчёт запасов по Вишневогорскому месторождению ниобия по состоянию на 01.01.1950 г. Книга 1. Вишневогорск, Вишневогорская ГРП, 320 с.

Климов Н.Г., Роненсон Б.М. (1963 ϕ) Отчёт по разведке Вишневогорского месторождения... по состоянию на 01.07.1962 г. Том 1. Объяснительная записка. Челябинск–Вишневогорск, Челябгеологоразведка, 378 с.

Кобяшев Ю.С., Макагонов Е.П., Никандров С.Н. (1998) Минералы Вишнёвых и Потаниных гор. Миасс, Ильменский гос. заповедник УрО РАН, 77 с.

Лебедева И.О., Недосекова И.Л. (1993). О процессе эшинитизации пирохлора из карбонатитов Булдымского массива (Вишнёвые горы, Урал). Записки ВМО, **122**(2), 69–75.

Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., Сергеев Н.С., Левина И.А., Киселёв А.П. (1997) Щёлочнокарбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург, Уралгеолком, 274 с.

Минеев Д.А., Разенкова Н.И. (1962) О зональности кристаллов вишневогоского пирохлора. *Записки ВМО*, **91**(1), 89–93.

Минералогия Урала. Оксиды и гидроксиды. Часть 1 (2000). Миасс–Екатеринбург, ИМин УрО РАН, 311 с.

Недосекова И.Л., Прибавкин С.В., Шарыгин В.В. (2018) Особенности состава и эволюция минералов группы пирохлора Ильмено-Вишневогорского карбонатитового комплекса (Южный Урал). Уральская минералогическая школа-2018. Екатеринбург, «Альфа Принт», 118–122.

Поляков В.О., Баженова Л.Ф. (1989) Акцессорная редкометалльно-редкоземельная минерализация в апогипербазитовых фенитах и карбонатитах Ильменогорско-Вишневогорского комплекса. *Минералы и минеральное сырьё горно-промышленных районов Урала*. Свердловск, УрО АН СССР, 11–19.

Попов В.А., Нишанбаев Т.П. (2008) Нодулярные карбонатиты Вишнёвых гор. Девятые Всеросс. научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова. Миасс, ИМин УрО РАН, 19–24.

Попов В.А., Попова В.И., Блинов И.А. (2017) Минеральные ассоциации и состав акцессорного магнетита Вишневогорского щелочного комплекса на Южном Урале. *Минералогия*, **3**(4), 3–11.

Чесноков Б.В. (1956) Определение приращения минерала при метамиктном распаде. *Записки ВМО*, **85**(5), 580–583. **Чесноков Б.В.** (1964) Находка бетафита в пегматитах нефелино-полевошпатового состава. *Записки ВМО*, **93**(1), 73–74.

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, (Abstract).

References

Amelandov A.S. (1929) [Nepheline syenites of the Kasli region of the Urals]. *Izvestiya Geologkoma [Proceedings of the Geological Committee]*, **48**(6), 148–155. (in Russian).

Amelandov A.S. (1931) [Industrial evaluation of the Vishnevogorsk feldspar deposit]. *Izvestiya Glavnogo geol.-razved. Upravleniya [Proceedings of Main Geological Prospecting Department]*, **50**(43), 685–706. (in Russian)

Atencio D., Andrade M.B., Christy A.G., Giere R. and Kartashov P.M. (2010) The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature. *Canadian Mineralogist*, **48**(3), 673.

Bonstedt-Kupletskaya E.M. (1951) [Mineralogy of alkaline pegmatites of the Vishnevy Mountains]. Moscow, AN SSSR, 176 p. (in Russian).

Chesnokov B.V. (1956) [Determination of increment of the mineral under metamictic decay]. Zapiski VMO [Proceedings of All-Union Mineralogical Society], **85**(5), 580–583. (in Russian).

Chesnokov B.V. (1964) [The finding of betaphite in nepheline-feldspar pegmatites]. *Zapiski VMO [Proceedings of All-Union Mineralogical Society]*, **93**(1), 73–74. (in Russian).

Es'kova E.M. (1959) [Geochemistry of Nb and Ta in the nepheline syenites of the Vishnevy Mountains]. *Ceokhimiya* [*Geochemistry*], (2), 130–139. (in Russian).

Es'kova E.M., Nazarenko I.I (1960) [Pyrochlore of the Vishnevy Mountains, its assemblages and features of chemical composition]. *Trudy IMGRE [Proceedings of IMGRE]*, **4**, 33–50. (in Russian).

Es'kova E.M., Zhabin A.G., Mukhitdinov G.N. (1964) [Mineralogy and geochemistry of rare elements of the Vishnevy Mountains]. Moscow, Nauka, 319 p. (in Russian)

Efimov A.A., Lebedeva S.I., Levin V.Ya. (1985) [Typochemistry of accessory pyrochlore in rocks of the alkaline complex of the Urals]. *Ceokhimiya* [*Geochemistry*], (2), 201–208. (in Russian).

Ivanov A.A., Borovsky I.B., Yarosh N.A. (1944) [Nbbearing minerals of the Vishnevy Mountains in the Urals]. *Trudy* gorno-geol. Instituta UFAN SSSR [Proceedings of the Mining and Geological Institute UB AN USSR], **5**, 1–18. (in Russian).

Isakov M.G. (1940) [Unpublished final report on exploration of zircon placers and search for primary deposits of zircon and REE minerals in the Vishnevy and Potaniny Mountains (Central Urals) in 1937–1940]. Book 1. Sverdlovsk, Souzredmetrazvedka, Vishnevogorskaya GRP, 213 p. (in Russian). Isakov M.G., Sennikov F.A., Vodop'yanov V.D. (1950) [Unpublished report on calculation of reserves of the Vishnevogorsk Nb deposit on 01.01.1950]. Book 1. Vishnevogorsk, Vishnevogorskaya GRP, 320 p. (in Russian).

Klimov N.G., Ronenson B.M. (1963) [Unpublished report on exploration of Vishnevogorsk deposit on 1.07.1962]. Volume 1. Explanatory note. Chelyabinsk–Vishnevogorsk, Chelyabgeologorazvedka, 378 p. (in Russian)

Kobyashev Yu.S., Makagonov E.P., Nikandrov S.N. (1998) [Minerals of the Vishnevy and Potaniny Mountains]. Miass, Ilmeny State Reserve, 77 p. (in Russian)

Lebedeva I.O., Nedosekova I.L. (1993) [Aeschynitization of pyrochlore from carbonatites of Buldym complex (Vishnevye Mountains, the Urals)]. *Zapiski VMO* [*Proceedings of All-Union Mineralogical Society*], **122**(2), 69–75. (in Russian)

Levin V.Ya., Ronenson B.M., Samkov V.S., Sergeev N.S., Kiselev A.P., Levina I.A. (1997) [Alkaline-carbonatite complexes of the Urals]. Yekaterinburg, Uralgeolcom, 274 p. (in Russian)

Mineev D.A., Razenkova N.I. (1962) [Zoning of crystals of the Vishnevogorsk pyrochlore]. Zapiski VMO [Proceedings of All-Union Mineralogical Society], 91(1), 89–93. (in Russian).

Mineralogy of Urals. Oxide and hydroxide. Part 1 (2000). Miass–Yekaterinburg, Institute of Mineralogy UB RAS, 311 p. (in Russian).

Nedosekova I.L., Pribavkin S.V., Sharygin V.V. (2018) [Composition and evolution particular of the Pyrocglore group minerals from Ilmeny-Vishnevogorsky complex (South Urals)]. Ural'skaya mineralogicheskaya shkola-2018 [Ural'sky mineralogical school-2018]. Jekaterinburg, «Al'fa Print», 118–122.

Polyakov B.O., Bazhenova L.F. (1989) [Accessory raremetal-rare-earth mineralization of fenites and carbonatites of the Ilmenogorsky–Vishnevogorsky complex]. *Mineraly i mineral'noe syr'e gorno-promyshlennykh rayonov Urala* [*Minerals and mineral raw materials of mining in industrial areas of the Urals*]. Sverdlovsk, UB AN SSSR, 11–19. (in Russian).

Popov V.A., Nishanbaev T.P. (2008) [Nodular carbonatites from the Vishnevye Mountains]. *9-e Vseross. nauchnye chteniya pamyati ilmenskogo mineraloga V.O. Polyakova [Ninth All-Russian meeting in memory of Ilmeny mineralogist V.O. Polyakov].* Miass, Institute of Mineralogy UB RAS, 19–24. (in Russian).

Popov V.A., Popova V.I., Blinov I.A. (2017) [Mineral assemblages and composition of accessory magnetite of the Vishnevogorsk alkaline complex (South Urals)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **3**(4), 3–11. (in Russian).

Zhabin A.G. (1966) [Metacrystals and criterion of relative idiomorphism of minerals]. *In:* Genesis of mineral individuals and aggregates (onthogeny of minerals). Moscow, Nauka, 34–50. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 11 октября 2018 г.