МИНЕРАЛЫ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ

УДК 549.5 (470.55)

ЦИРКОНОЛИТ ИЗ ЩЕЛОЧНЫХ ПЕГМАТИТОВ ВИШНЁВЫХ ГОР: ПЕРВЫЕ НАХОДКИ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

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

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

ZIRCONOLITE OF ALKALINE PEGMATITES OF THE VISHNEVYE MOUNTAINS: THE FIRST FINDINGS IN THE SOUTH URALS

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

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

Цирконолит, сложный оксид с идеализированной формулой (Ca,REE)Zr(Ti,Fe,Nb)₂O₇, установлен среди акцессорных минералов ниобиевых руд в щелочных пегматитах и карбонатитах Вишневогорского щелочного комплекса (Южный Урал). Зёрна цирконолита размером 3–25 мкм имеют в сечении таблитчатую форму и находятся в парагенезисах с пирохлором, цирконом, титанитом, ильменитом и кальцитом. Состав цирконолита (мас. %): CaO 8.5–9.3; Y_2O_3 0.0–1.3; (REE)₂O₃ 10.04–12.2; ZrO₂ 28.8–29.6; TiO₂ 24.4–25.5; Nb₂O₅ 13.1–13.4; Ta₂O₅ 1.1–2.0; FeO 7.3–8.6; сумма 97.9–99.5. Средний состав минерала близок формуле CaREEZr₂Ti₂NbFe²⁺O₁₄.

Илл. 4. Табл. 2. Библ. 8.

Ключевые слова: цирконолит, щелочные пегматиты, Вишнёвые горы, Южный Урал.

Zirconolite, a complex oxide with an idealized formula $(Ca,REE)Zr(Ti,Fe,Nb)_2O_7$, is an accessory mineral of Nb ores from alkali pegmatites and carbonatites of the Vishnevogorsk alkaline complex (South Urals, Russia). Tabular grains of zirconolite (3–25 µm across) occur in assemblages with pyrochlore, zircon, titanite, ilmenite, and calcite. The chemical composition of zirconolite (wt. %, Fe is considered as Fe²⁺) is as follows: CaO 8.5–9.3; Y₂O₃ 0.0–1.3; REE₂O₃ 10.0–12.2; ZrO₂ 28.8–29.6; TiO₂ 24.4–25.5; Nb₂O₅ 13.1–13.4; Ta₂O₅ 1.1–2.0; FeO 7.3–8.6; total 97.9–99.5. The average chemical composition of the mineral is close to formula CaREEZr₂Ti₂NbFe²⁺O₁₄.

Figures 4. Table 2. References 8.

Key words: zirconolite, alkali pegmatites, Vishnevye Mountains, South Urals.

Введение

Минералы группы цирконолита характерны для щелочных комплексов и, особенно, карбонатитов (Капустин, 1971). К этой группе относят цирконолит-3*O* (ранее описывавшийся как полимигнит) (Ca,*REE*)₂Zr₂(Ti,Nb)₃FeO₁₄, цирконолит-2*M* (Ca,*REE*)₂Zr₂(Ti,Nb)₃FeO₁₄, цирконолит-3*T* (Ca,*REE*)₂Zr₂(Ti,Nb)₃FeO₁₄ и лаахит Ca₂Zr₂Nb₂TiFeO₁₄. Два первых цирконолита достаточно широко распространены, и им посвящена наиболее детальная сводка по этой группе (Williams, Gieré, 1996), сведения же о двух последних можно найти в работах (Chukanov et al., 2014; Zubkova et al., 2018).

В России наиболее детально изучен цирконолит из объектов Южной Якутии, Саян и Карело-Кольского региона. На Урале минералы группы цирконолита не встречались, но по аналогии со щелочными комплексами других регионов можно было предположить их нахождение в объектах Южноуральской щелочной провинции.



Рис. 1. Местоположение миаскитовых пегматитов № 1 и 2 (Курочкин лог) и Копи сфена (Свистунов лог) среди жил Вишнёвых гор (по Исакову и др., 1950ф; «Копь сфена» нанесена А.М. Кузнецовым).

1 – миаскиты, 2 – щелочные сиениты, 3 – гранитогнейсы, 4 – тела миаскитовых пегматитов.

Fig. 1. Location of miaskite pegmatite veins nos. 1 and 2 (Kurochkyn Log) and Titanite Mine (Svistunov Log) among the veins of the Vishnevye Mountains (after Isakov et al., 1950f; position of the Titanite Mine is shown by A.M. Kuznetsov).

1 – miaskites, 2 – alkali syenites, 3 – granite gneisses,
4 – veins of miaskite pegmatites.

При изучении анатомических особенностей индивидов и агрегатов титанита и минералов группы пирохлора Вишневогорского щелочного комплекса нами выявлены микроскопические включения, по составу соответствующие минералам группы цирконолита. Цирконолит установлен к настоящему времени в щелочных пегматитах в отрогах горы Курочкиной (Курочкин лог, жила 2) и горы Ерёминой (Свистунов лог, «Копь сфена») (рис. 1). При микрозондовых исследованиях обнаружены более десятка зёрен цирконолита, три относительно крупных из которых исследованы. Состав цирконолита и пирохлора определен в Институте минералогии УрО РАН (SEM Vega3 Tescan, аналитик И.А. Блинов), сопутствующие минералы диагностированы В.А. Котляровым (РЭММА-202М с ЭДА LZ-5 с эталонами MINM-25-53 и Mineral Mount Serial № 01-44).

Местонахождение и химический состав цирконолита

Две крупных субширотных линзы миаскитовых пегматитов Курочкина лога разведаны в первой половине XX века и отрабатывались на керамическое сырьё. Пегматитовые тела длиной около 80 м и мощностью до 12–25 м отработаны до глубины 20–25 м и на разных участках имеют различную минерализацию (Бонштедт-Куплетская, 1951). В отвале жилы № 2 на участке с крупнозернистым канкринитом встречены образцы с пирохлор-циркон-титанитовой минеральной ассоциацией. В образце В-19 титанит представлен крупными двойниками (до 3.5 см) с выделяющейся зоной вблизи периферии кристалла, которая содержит вростки



Рис. 2. Сечение двойника титанита (Ttn) с включениями синхронных минералов (Курочкин лог, жила 2, обр. В-19).

а – общий вид сечения ⊥ [001]; б – фрагмент: вростки цирконолита (а) и эгирина (Aeg) в зерне фторкальциопирохлора (b) среди ильменита (Ilm) с ориентированными вростками гематита (Hem). BSE-фото.

Fig. 2. Cross-section of a titanite twin (Ttn) with inclusions of synchronous minerals (Kurochkin Log, vein no. 2, sample B-19).

a – general view of the section \perp [001]; b – detail of photo (a) ingrowth of zirconolite and aegirine (Aeg) into fluorcalciopyrochlore (b) within an ilmenite grain (Ilm) with oriented ingrowths of hematite (Hem). BSE-photo.

Таблица 1

Химический состав (мас. %) цирконолита из щелочных пегматитов Вишнёвых гор

Table 1

Chemical composition of zirconolite from alkaline pegmatites of the Vishnevye Mountains (wt. %)

№ ан.	CaO	TiO ₂	FeO	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Ta ₂ O ₅	ThO ₂	Y ₂ O ₃	Сумма
1 <i>a</i>	9.29	24.38	8.57	29.44	13.37	_	3.54	0.89	4.00	1.92	0.70	1.95	1.46	_	99.51
2 <i>c</i>	8.45	24.86	7.92	28.82	13.29	1.06	4.96	_	3.71	1.32	1.10	1.13	0.79	1.17	98.58
3 <i>d</i>	9.31	25.52	7.32	29.63	13.13	0.56	4.84	0.83	3.16	_	0.65	1.14	0.52	1.27	97.88
Расчётные формулы (на O = 7)															
$\begin{bmatrix} 1a & (Ca_{0.66}Ce_{0.09}Nd_{0.09}Pr_{0.02}Sm_{0.04}Eu_{0.02}Th_{0.02})_{\Sigma 0.94}Zr_{0.95}(Ti_{1.22}Fe_{0.48}Nb_{0.40}Ta_{0.04})_{\Sigma 2.14}O_{7} \\ (Ca_{0.66}Ce_{0.09}Nd_{0.14}La_{0.5}Sm_{0.40}Th_{0.22})_{\Sigma 0.94}Zr_{0.95}(Ti_{1.22}Fe_{0.48}Nb_{0.40}Ta_{0.04})_{\Sigma 2.14}O_{7} \\ (Ca_{0.66}Ce_{0.09}Nd_{0.19}Pr_{0.02}Sm_{0.48}Eu_{0.02}Th_{0.02})_{\Sigma 0.94}Zr_{0.95}(Ti_{1.22}Fe_{0.48}Nb_{0.40}Ta_{0.04})_{\Sigma 2.14}O_{7} \\ (Ca_{0.66}Ce_{0.09}Nd_{0.19}Pr_{0.02}Sm_{0.48}Eu_{0.02}Th_{0.02})_{\Sigma 0.94}Zr_{0.95}(Ti_{1.22}Fe_{0.48}Nb_{0.40}Ta_{0.04})_{\Sigma 2.14}O_{7} \\ (Ca_{0.66}Ce_{0.09}Nd_{0.19}Pr_{0.02}Sm_{0.48}Eu_{0.02}Th_{0.02})_{\Sigma 0.94}Zr_{0.95}(Ti_{1.22}Fe_{0.48}Nb_{0.40}Ta_{0.04})_{\Sigma 2.14}O_{7} \\ (Ca_{0.66}Ce_{0.09}Nd_{0.19}Pr_{0.02}Sm_{0.48}Eu_{0.17}Th_{0.29})_{\Sigma 0.94}Zr_{0.95}(Ti_{1.22}Fe_{0.48}Nb_{0.40}Ta_{0.04})_{\Sigma 2.14}O_{7} \\ (Ca_{0.66}Ce_{0.09}Nd_{0.19}Pr_{0.02}Sm_{0.48}Eu_{0.17}Th_{0.29})_{\Sigma 0.94}Zr_{0.95}(Ti_{1.22}Fe_{0.48}Nb_{0.40}Ta_{0.04})_{\Sigma 2.14}O_{7} \\ (Ca_{0.66}Ce_{0.09}Nd_{0.19}Pr_{0.02}Sm_{0.19}Eu_{0.19}Th_{0.19})_{\Sigma 0.94}Zr_{0.19}(Ti_{1.27}Fe_{0.48}Nb_{0.49}Ta_{0.04})_{\Sigma 2.14}O_{7} \\ (Ca_{0.66}Ce_{0.09}Nd_{0.19}Pr_{0.19}Eu_{0.19}Th_{0.19})_{\Sigma 0.19}Zr_{0.19}(Ti_{1.27}Fe_{0.48}Nb_{0.49}Ta_{0.19})_{\Sigma 0.19}$															
30	$\frac{2c}{3d} \qquad (Ca_{0.60}Ce_{0.12}Nd_{0.09}La_{0.03}Sm_{0.03}Ed_{0.03}Tn_{0.01}T_{0.04})_{\Sigma_{0.95}}Zr_{0.94}(T1_{1.25}Fe_{0.44}Nb_{0.40}Ta_{0.02})_{\Sigma_{2.11}}O_{7}$														

Примечание. 1*a* – Курочкин лог (обр. В-19); 2*c*, 3d – Свистунов лог (обр. В-29). *Note*. 1*a* – Kurochkin Log (sample B-19); 2*c*, 3*d* – Svistunov Log (sample B-29).

нескольких синхронных с титанитом минералов (см. рис. 2a) – ильменита $Fe_{0.9}Mn_{0.1}TiO_3$ и редких эгирина (Na_{0.94}Ca_{0.06})(Fe^{3+}_{0.81}Al_{0.14}Ti_{0.02}Mg_{0.02}V_{0.01}) Si_2O_6, кальцита, аннита, анальцима, фторкальционирохлора и цирконолита.

Цирконолит встречен в виде мелких разноориентированных вростков в зерне фторкальциопирохлора, образующего сросток с ильменитом и эгирином (см. рис. 26). Пластинчатые вростки цирконолита величиной 5–25 мкм имеют в сечении неровные ограничения, свидетельствующие о сокристаллизации цирконолита с соседними минералами. Эмпирическая формула этого цирконолита (см. табл. 1, ан. 1*a*) такова: (Ca_{0.66}Ce_{0.09}Nd_{0.09}Pr_{0.02} Sm_{0.04}Eu_{0.02}Th_{0.02})_{20.94}Zr_{0.95}(Ti_{1.22}Fe_{0.48}Nb_{0.40}Ta_{0.04})_{22.14}O₇. Включающий его фторкальциопирохлор содержит почти вдвое меньше РЗЭ и, видимо, частично гидратирован (табл. 2, ан. 1*b*).

Вторая находка цирконолита относится к небольшой «Копи сфена» в верховьях Свистунова лога, хорошо известной любителям камня с 70-х годов XX века (см. рис. 1). Жила миаскитового пегматита длиной около 6 м вскрыта до глубины 1.5-2.0 м и по минеральному составу близка к отдельным участкам пегматитовых линз Курочкина лога. В двух разных сечениях крупного двойника титанита из образца В-29 (рис. 3 и 4) встречены вростки таблитчатых кристаллов цирконолита (см. рис. 36 и табл. 1, ан. 2c, 3d) в зёрнах $(Ca_{1.77}Na_{0.77}Ce_{0.08}Sr_{0.04}La_{0.03})$ фторкальциопирохлора Nd_{0.01})₂₂(Nb_{1.61}Ti_{0.33}Ta_{0.06})₂₂O₆(F_{0.78}OH_{0.22}) (см. табл. 2, ан. 2b). В титаните также присутствуют вростки пирофанита Mn_{0.62}Fe_{0.38}TiO₃, калиевого полевого шпата (K_{0.88}Na_{0.10}Ba_{0.02})AlSi₃O₈, альбита, ильменита и включения мелкозернистых агрегатов канкринита, содалита, банальсита-стрональсита $Na_{2,12}(Ba_{0,51}Sr_{0,49})(Al_{4,05}Si_{3,95})O_{16,04}-Na_{1,93}(Sr_{0,93}Ba_{0,06})$

МИНЕРАЛОГИЯ 4(3) 2018

 $(Al_{3.97}Si_{4.05})O_{16.01}$ и Fe-содержащего рутила (см. рис. 36 и 4). Все минералы неоднородны по составу. В одном кристалле титанита вростки разных зёрен цирконолита отличаются содержаниями основных компонентов (см. табл. 1, ан. 2*c* и 3*d*). Состав разных участков кристаллов титанита также слабо варьирует от $(Ca_{0.93}Nb_{0.03}Al_{0.03}Fe_{0.01}Y_{0.01})TiSiO_5$ до $(Ca_{0.91}Nb_{0.06}Al_{0.02}Fe_{0.01}Y_{0.02})TiSiO_5$.

Обсуждение результатов и выводы

Цирконолит установлен в Вишневогорском щелочном комплексе (и на Урале) впервые. Также впервые в Вишнёвых горах обнаружены стрональсит и банальсит, которые ранее были найдены южнее – в Ильменских горах (Макагонов, Котляров, 2008; Медведева и др., 2016). Судя по индукционным поверхностям совместного роста с крупными до гигантских индивидами нефелина и полевого шпата, крупные индивиды титанита из щелочных пегматитов Курочкина и Свистунова логов Вишнёвых гор образуют одновозрастную минеральную ассоциацию одной из зон пегматитовых тел. Сокристаллизовавшиеся с титанитом минералы – фторкальциопирохлор с вростками цирконолита, ильменит, магнетит, пирофанит, рутил, эгирин, аннит, калиевый полевой шпат, альбит, банальсит, стрональсит – также являются первичными минералами пегматитов.

Интересными особенностями химического состава вишневогорского цирконолита являются повышенные концентрации РЗЭ (10.2–12.3 мас. %) и приблизительно одинаковые атомные количества Fe и Nb (при преобладании Ti над их суммой). Фторкальциопирохлор, вмещающий вростки цирконолита, содержит вдвое меньше РЗЭ (4.3– 5.1 мас. %) и почти не содержит железа, т.е. он не



Рис. 3. Вростки пирохлора (a, b) и цирконолита (c, d) в двойнике титанита (Ttn) с пирофанитом (Pph) и калиевым полевым шпатом (Kfs). Свистунов лог, «Копь сфена», обр. В-29.

а – общий вид сечения двойника | [001], б – фрагмент. BSE-фото.

Fig. 3. Pyrochlore (a, b) and zirconolite (c, d) included in titanite twin (Ttn) with pyrophanite (Pph) and potassium feldspar (Kfs). Svistunov Log, Titanite Mine, sample B-29.

a – general view of twin section || [001]; b – detail of photo (a). BSE-photo.



Рис. 4. Вростки минералов в титаните. Свистунов лог, «Копь сфена». Обр. В-29, сечение двойника ⊥ [001]. а – калиевый полевой шпат (Kfs) с включениями альбита (Ab); б – сросток содалита (Sdl), канкринита (Ccn), банальсита (Bns), стрональсита (Sns), рутила (Rt), пирохлора (Pcl) и ильменита (Ilm). BSE-фото.

Fig. 4. Ingrowths of minerals in titanite. Svistunov Log, Titanite Mine.

a – potassium feldspar (g) with inclusions of albite (h); b – aggregate of sodalite (Sdl), cancrinite (Ccn), banalsite (n), stronalsite (m), rutile (i), pyrochlore (q), and ilmenite (o). BSE-photo.

Таблица 2

Химический состав (мас. %) фторкальциопирохлора из парагенезиса с цирконолитом

Table 2

№ ан.	Na ₂ O	CaO	SrO	FeO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	TiO ₂	Ta ₂ O ₅	F	Сумма
1 <i>b</i>	6.59	15.25	0.94	0.53	0.70	2.37	0.74	0.54	55.88	5.70	3.80	4.21	97.25
2 <i>b</i>	6.28	15.83	0.98	_	1.20	3.46	_	0.47	56.52	7.07	3.32	3.91	99.04
Расчётные формулы на $(Nb + Ti + Ta) = 2$													
$ \begin{array}{c} 1b \\ 2b \end{array} \begin{array}{l} (Ca_{1.05}Na_{0.82}Sr_{0.04}Ce_{0.06}La_{0.02}Pr_{0.02}Nd_{0.01})_{\Sigma 2.02}(Nb_{1.63}Ti_{0.28}Ta_{0.07}Fe_{0.02})_{\Sigma 2.00}O_6(F_{0.86}OH_{0.14}) \cdot 0.32 \text{ H}_2O \\ (Ca_{1.07}Na_{0.77}Sr_{0.04}Ce_{0.08}La_{0.3}Nd_{0.01})_{\Sigma 2.00}(Nb_{1.61}Ti_{0.33}Ta_{0.06})_{\Sigma 2.00}O_6(F_{0.78}OH_{0.22}) \cdot 0.20 \text{ H}_2O \end{array} $													

Chemical composition of fluorcalciopyrochlore associated with zirconolite (wt. %)

Примечание. 1b -обр. B-19 (в ан. 1b дополнительно 1.27 мас. % SiO₂); 2b - обр. B-29. ОН и H₂O - расчёт. Note. 1b - sample B-19 (analysis 1b contains 1.27 wt. % SiO₂); 2b - sample B-29. ОН анd H₂O are recalculated.

7

мог «загрязнить» анализ цирконолита. В цирконолите также не обнаружены Sr и Ba, несмотря на присутствие зёрен банальсита-стрональсита в минеральном агрегате. Таким образом, приведённые данные отражают состав чистого цирконолита.

Состав вишневогорского минерала во многом сходен с составом более крупных кристаллов Nb-Fe-цирконолита из кальцитовых карбонатитов Белозиминского массива в Восточном Саяне, где минерал образует вростки в агрегатах фторкальциопирохлора с доломитом, кальцитом, гидроксилсодержащим фторапатитом, флогопитом, магнетитом, ильменитом, форстеритом и клинопироксенами ряда диопсид-эгирин; в отдельных зёрнах саянского цирконолита проявлена контрастная неоднородность (секториальность) состава (Шарыгин и др., 2016, рис. 43). В этой работе предполагается, что цирконолит – более ранний минерал относительно фторкальциопирохлора, но судя по иллюстрациям, они образуют одновозрастную ассоциацию, в том числе и с другими минералами карбонатитов. По сравнению с белозиминскими образцами, цирконолит из щелочных пегматитов Вишнёвых гор содержит приблизительно втрое больше РЗЭ и вдвое больше Ті, но заметно меньше Nb, Са и практически не содержит Mn и Hf. Из-за малой величины зёрен структура вишневогорского цирконолита не изучена, а также не уточнена валентность железа. Вишневогорский цирконолит наиболее близок по составу к формуле CaREEZr, Ti, NbFe²⁺O₁₄.

Авторы признательны И.В. Пекову за конструктивные замечания и дополнения. Исследования выполнены в рамках госбюджетной темы АААА-А17-117020250032-1 Института минералогии УрО РАН.

Литература

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

Капустин Ю.Л. (1971) Минералогия карбонатитов. М., Наука, 288 с.

Макагонов Е.П., Котляров В.А. (2008) Бариевая и стронциевая минерализация в Ильменогорском миаскитовом массиве. Уральский минералогический сборник, (15), 27–34.

Медведева Е.В., Немов А.Б., Котляров В.А. (2016) Банальсит-стрональсит из сандыита Ильменогорского миаскитового массива (Южный Урал). *Минералогия*, **3**(1), 3–8.

Шарыгин В.В., Дорошкевич А.Г., Хромова Е.А. (2016) Nb-Fe-минералы группы цирконолита в кальцитовых карбонатитах Белозиминского массива (Восточный Саян). *Минералогия*, **3**(4), 3–18. **Chukanov N.V., Krivovichev S.V., Pakhomova A.S., Pekov I.V., Schäfer Ch., Vigasina M.F., Van K.V.** (2014) Laachite, (Ca,Mn)₂Zr₂Nb₂TiFeO₁₄, a new zirconolite-related mineral from the Eifel volcanic region, Germany. *European Journal of Mineralogy*, **26**, 103–111.

Williams C.T., Gieré R. (1996) Zirconolite: a review of localities worldwide, and a compilation of its chemical compositions. *Bulletin of the Natural History Museum London (Geology)*, **52**, 1–24.

Zubkova N.V., Chukanov N.V., Pekov I.V., Ternes B., Schüller W., Ksenofontov D.A., Pushcharovsky D.Yu. (2018) The crystal structure of nonmetamict Nbrich zirconolite-3*T* from the Eifel paleovolcanic region, Germany. *Zeitschrift für Kristallografie*, 233(7), 463–468.

References

Bonshtedt-Kupletskaya, E.M. (1951) [Mineralogy of alkali pegmatites of the Vishnevye Mountains]. Moscow, Academy of Sciences of USSR, 176 p. (in Russian)

Chukanov N.V., Krivovichev S.V., Pakhomova A.S., Pekov I.V., Schäfer Ch., Vigasina M.F., Van K.V. (2014) Laachite, (Ca,Mn)₂Zr₂Nb₂TiFeO₁₄, a new zirconolite-related mineral from the Eifel volcanic region, Germany. *European Journal of Mineralogy*, **26**, 103–111.

Chukanov N.V., Krivovichev S.V., Pakhomova A.S., Pekov I.V., Schäfer Ch., Vigasina M.F., Van K.V. (2014) Laachite, (Ca,Mn)₂Zr₂Nb₂TiFeO₁₄, a new zirconolite-related mineral from the Eifel volcanic region, Germany. *European Journal of Mineralogy*, **26**, 103–111.

Kapustin Yu.L. (1971) [Mineralogy of carbonatites]. Moscow, Nauka, 288 p. (in Russian)

Makagonov E.P., Kotlyarov V.A. (2008) [Ba and Sr mineralization of the Ilmenogorsky miaskite complex]. Uralskiy mineralogicheskiy sbornik [Urals Mineralogical Collection], (15), 27–34. (in Russian)

Medvedeva E.V., Nemov A.B., Kotlyarov V.A. (2016) [Banalsite-stronalsite from sandyite of the Ilmenogorsk miaskite complex (Southern Urals)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **3**(1), 3–8. (in Russian)

Sharygin V.V., Doroshkevich A.G., Khromova E.A. (2016) [Nb-Fe minerals of the zirconolite group in calcite carbonatites of the Belaya Zima massif (East Sayany)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **3**(4), 3–18. (in Russian)

Williams C.T., Gieré R. (1996) Zirconolite: a review of localities worldwide, and a compilation of its chemical compositions. *Bulletin of the Natural History Museum London (Geology)*, **52**, 1–24.

Zubkova N.V., Chukanov N.V., Pekov I.V., Ternes B., Schüller W., Ksenofontov D.A., Pushcharovsky D.Yu. (2018) The crystal structure of nonmetamict Nbrich zirconolite-3*T* from the Eifel paleovolcanic region, Germany. *Zeitschrift für Kristallografie*, **233**(7), 463–468.

Статья поступила в редакцию 11 сентября 2018 г.