

УДК 549.744(470.55)

DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-3-4

КУХАРЕНКОИТ-(СЕ) И ЕГО МИНЕРАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ В ПЕГМАТИТАХ ВИШНЁВЫХ ГОР (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

В.И. Попова¹, М.А. Рассомахин¹, В.А. Попов¹, А.М. Кузнецов², С.М. Лебедева¹

¹ Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Институт минералогии, г. Миасс, Челябинская область, 456317 Россия; popov@mineralogy.ru
² ул. Октябрьская 5-337, г. Челябинск, 454071 Россия

Статья поступила в редакцию 28.08.2021 г., принята к печати 28.09.2021 г.

KUKHARENKOITE-(CE) AND ITS MINERAL ASSEMBLAGE IN PEGMATITES OF THE VISHNEVYE MOUNTAINS (SOUTH URALS)

V.I. Popova¹, M.A. Rassomakhin¹, V.A. Popov¹, A.M. Kuznetsov², S.M. Lebedeva¹

¹ South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS,
Institute of Mineralogy, Miass, Chelyabinsk oblast, 456317 Russia; popov@mineralogy.ru
² ul. Oktyabrskaya, 5-337, Chelyabinsk, 454071 Russia

Received 28.08.2021, accepted 28.09.2021

Аннотация. Редкий фторкарбонат бария и РЗЭ кухаренкоит-(Ce) $Ba_2Ce(CO_3)_3F$ с эмпирической формулой $(Ba_{1.88}Sr_{0.17})_{2.05}(Ce_{0.53}La_{0.31}Nd_{0.11})_{0.95}(CO_3)_3F$ встречен в щелочном пегматите жилы № 35 в Вишнёвых горах на Южном Урале. Кухаренкоит-(Ce) образует мелкие включения до 3–7 мкм в анатазе и кварце. КР спектр исследованного кухаренкоита-(Ce) близок спектру № R110190 кухаренкоита-(Ce) из базы данных RRUFF. Минеральная ассоциация жилы № 35 включает полевые шпаты, аннит, янжуминит (?), эгирин, магнизофторарфведсонит, алланит-(Ce), ильменит, монацит-(Ce), анатаз, рутил, брукит, титанит, пирит, молибденит, кальцит, циркон, пирохлор и РЗЭ-карбонаты – бастнезит-(Ce), паризит-(Ce), синхизит-(Ce), рентгенит-(Ce) и хуанхэит-(Ce). Кухаренкоит-(Ce) и, предположительно, янжуминит $KMg_{2.5}[Si_4O_{10}]F_2$ найдены впервые на Урале.

Ключевые слова: кухаренкоит-(Ce), янжуминит, щелочные пегматиты, жила № 35, Вишнёвые горы, Южный Урал, Россия.

Abstract. A rare Ba and REE fluorocarbonate kukharenkoite-(Ce) $Ba_2Ce(CO_3)_3F$ with empirical formula $(Ba_{1.88}Sr_{0.17})_{2.05}(Ce_{0.53}La_{0.31}Nd_{0.11})_{0.95}(CO_3)_3F$ was found in alkali pegmatite of vein no. 35 in the Vishnevy Mountains, South Urals. Kukharenkoite-(Ce) forms small inclusions up to 3–7 μm in anatase and quartz. Raman spectrum of the studied kukharenkoite-(Ce) is similar to spectrum no. R110190 of kukharenkoite-(Ce) from the RRUFF database. The mineral assemblage of pegmatite from vein no. 35 includes feldspars, annite, yangzhuminit (?), aegirine, magnesio-fluoro-arfvedsonite, allanite-(Ce), ilmenite, monazite-(Ce), anatase, rutile, brookite, titanite, pyrite, molybdenite, calcite, zircon, pyrochlore, and REE carbonates – bastnäsite-(Ce), parisite-(Ce), synchisite-(Ce), röntgenite-(Ce) and huanghoite-(Ce). Kukharenkoite-(Ce) and, mostly likely, yangzhumingite $KMg_{2.5}[Si_4O_{10}]F_2$ are found for the first time in the Urals.

Keywords: kukharenkoite-(Ce), yangzhumingite, alkali pegmatite, vein no. 35, Vishnevy Mountains, Southern Urals, Russia

Для цитирования: Попова В.И., Рассомахин М.А., Попов, В.А., Кузнецов А.М., Лебедева С.М. Кухаренкоит-(Ce) и его минеральная ассоциация в пегматитах Вишнёвых гор (Южный Урал). Минералогия, 7(3), 68–77. DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-3-4.

For citation: Popova V.I., Rassomakhin M.A., Popov V.A., Kuznetsov A.M., Lebedeva S.M. Kukharenkoite-(Ce) and its mineral assemblage in pegmatites of the Vishnevy Mountains (South Urals). Mineralogy, 7(3), 68–77. DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-3-4.

Введение

На Южном Урале в Вишнёвых горах на площади от г. Мохнатой на севере до р. Большой Маук и автодороги Маук–Касли на юге в щелочных породах Вишневогорского комплекса известно свыше 80 жил щелочных пегматитов, часть из которых объединены в рудные зоны. Жилы вскрыты копиями, канавами, карьерами и шахтными выработками. В северо-западной части Вишнёвых гор наиболее разведаны и в значительной мере отработаны рудная зона № 140 (карьерами и шахтой «Капитальная»), а карьерами – группа жил №№ 35 и 125 в пределах рудной зоны № 147 (рис. 1).

Жила № 35 вскрыта в 1931–1932 гг. небольшими старательскими выработками партией треста «Уралцветметразведка» под руководством Ф.И. Рукавишниковой и затем М.Г. Исакова (1942) в процессе поисков коренных месторождений циркона и пироклора. В 1947 г. крупное жильное тело с простиранием 325–330° СЗ и пологим падением на северо-восток под углом ~35° характеризовалось сложной формой и переменной толщиной («мощностью») с раздувами в несколько метров (Бонштедт-Куплетская, 1951). В дальнейшем в карьере жилы № 35 выявлено три крупных нефелин-полевошпатовых жилы с участками полевошпатового и пироксен-полевошпатового состава, а также разнообразные минерализованные прожилки в фенитах. Пироклорсодержащие руды этой жилы отработывались карьером и штольней в 1950–1970-х гг. В бортах карьера еще долго были видны участки жил пегматитов (рис. 2а). К настоящему времени карьер почти полностью засыпан отвалами вскрышных пород из полевошпатового карьера «Надежда» на г. Долгой. Отвалы пород из карьера жилы № 35 складированы в 400 м юго-восточнее этого карьера на склоне г. Долгой (рис. 2б).

Жильная минерализация, выявленная в карьере жилы № 35, чрезвычайно разнообразна. Кроме преобладающих полевых шпатов и менее распространенных пироксенов, амфиболов, нефелина, аннита, промышленно значимого пироклора, кальцита, алланита-(Ce), сульфидов и ряда других минералов, особый интерес вызывают минералы РЗЭ и редких металлов (табл. 1).

Двадцать пять из 43 минералов, приведённых в табл. 1, содержат в своем составе РЗЭ. В образцах, отобранных А.М. Кузнецовым в 1992 г. из кварц-полевошпатовых прожилков в кварцлагере шахты № 5 по жиле № 35 (горизонт +185 м), выяв-

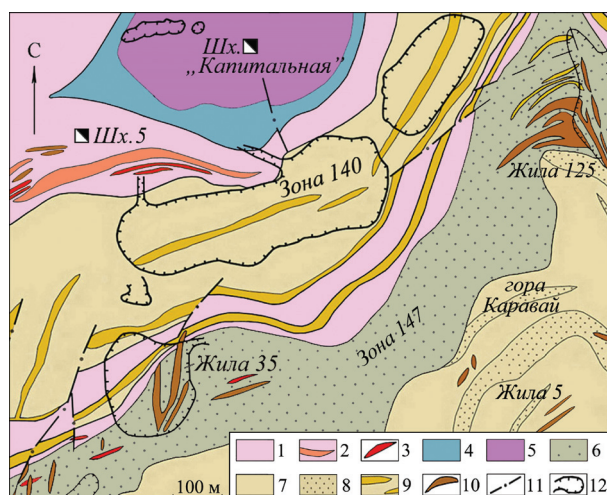


Рис. 1. Геологическая карта участка локализации жилы № 35 в рудной зоне № 147 Вишнёвых гор, Южный Урал (Исаков и др., 1950; Роненсон, 1966) с нашими изменениями.

1 – гнейсы, амфиболиты, кристаллосланцы (PR₁); 2 – жильные граниты (Pz₁?); 3 – гранитные пегматиты (Pz₂₋₃?); 4, 5 – габброиды (4) и серпентиниты (5) Бульдымского массива (PR₁); 6 – биотит-амфибол-пироксеновые фениты (Pz₁); 7–9 – биотитовые (7), мусковитизированные (8) и альбитизированные (9) миаскиты с зонами карбонатитов (Pz₁₋₂); 10 – миаскитовые и сиенитовые пегматиты (Pz₂); 11 – основные нарушения; 12 – контуры карьеров. Шх. – шахты (шахта «Капитальная»: 56°00'24" с.ш., 60°38'27" в.д.).

Fig. 1. Geological map of location of vein no. 35 in ore zones no. 147 of Vishnevy Mountains, Southern Urals (Isakov et al., 1950; Ronenson, 1966) modified after.

1 – gneiss, amphibolite, crystal schist (PR₁); 2 – veined granite (Pz₁?); 3 – granitic pegmatite (Pz₂₋₃?); 4, 5 – gabbroid (4) and serpentinite (5) of the Buldym block (PR₁); 6 – biotite-amphibole-pyroxene fenite (Pz₁); 7–9 – biotite (7), muscovite (8) and albite (9) miaskite with carbonatite zones (Pz₁₋₂); 10 – miaskitic and syenitic pegmatite (Pz₂); 11 – main faults; 12 – contours of quarries. Шх. – mines (mine Kapitalnaya: 56°00'24" N, 60°38'27" E).

лен кухаренкоит-(Ce) – редкий фторкарбонат РЗЭ, Ва и Sr. Химический состав кухаренкоита-(Ce) и сопутствующих минералов исследованы на СЭМ Tescan Vega3 с ЭДС Oxford Instrument X-act при ускоряющем напряжении 20 кВ и времени набора 40 сек (аналитик М.А. Рассомахин). Спектры комбинационного рассеяния света (КР) получены на спектрометре iHR 320 LabRAM фирмы Horiba Jobin Yvon, снабженного микроскопом Olympus BX41, TV камерой и охлаждаемым CCD детектором (аналитик Л.М. Лебедева). Возбуждающей служила линия 632.8 нм He-Ne лазера (P_{max} = 20 мВт), спек-

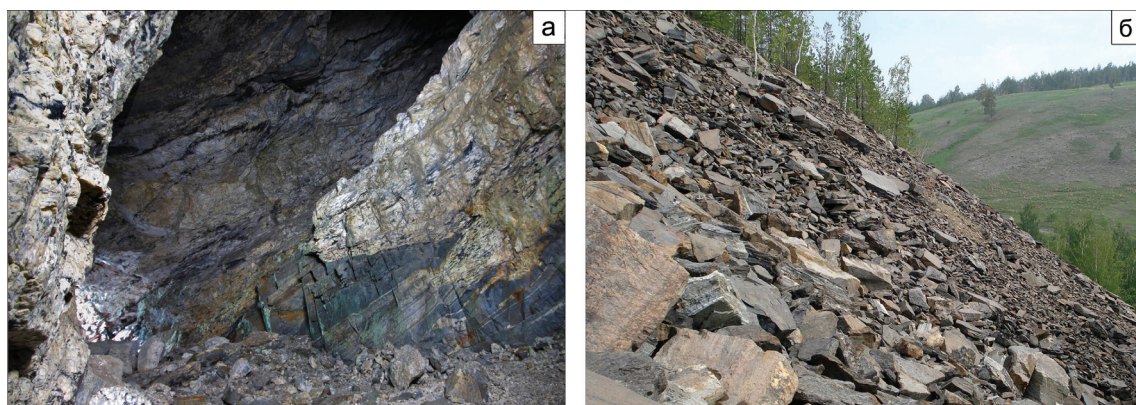


Рис. 2. Жилы щелочных пегматитов (светлые) в полосчатых фенитах ЮВ борта карьера у штольни в карьере жилы № 35 (а) и участок отвала вскрышных пород (б; на заднем плане – г. Каравай).

Ширина снимков 5 м. Фото: а – М. Зорин, 2010 г. (www.uralmines.ru), б – А. Кузнецов, 2011 г.

Fig. 2. Alkali pegmatite veins (light) in banded fenite of the southwest side of a quarry near the adit of vein no. 35 (a) and area of rock dump (б; background, Mt. Karavay).

The image width is 5 m. Photos: а – М. Zorin, 2010 (www.uralmines.ru), б – А. Kuznetsov, 2011.

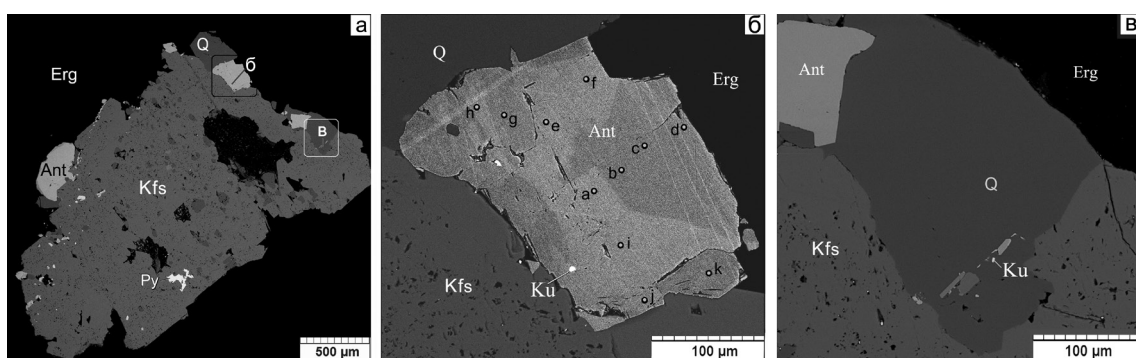


Рис. 3. Минеральный агрегат (а) с включениями кухаренкоита-(Ce) в анатазе (б) и кварце (в) из жилы № 35.

Здесь и далее: Ку – кухаренкоит-(Ce), Ant – анатаз, Q – кварц, Kfs – микроклин с вростками альбита, кальцита, эгирина, фтормагнезиоарфведсонита, рутила, пирита (Py). Erg – эпоксидная смола. BSE фото.

Fig. 3. Mineral aggregate (a) with kukharenkoite-(Ce) inclusions in anatase (б) and quartz (в) from vein no. 35.

Hereinafter: Ku – kukharenkoite-(Ce), Ant – anatase, Q – quartz, Kfs – microcline with intgrowths of albite, calcite, aegirine, fluoro-magnesio-arfvedsonite, rutile and pyrite (Py). Erg – epoxy resin. BSE photo.

тральная ширина щели составляла 2 см^{-1} . Сбор рассеянного света осуществлен по схеме на отражение (180°) с зерен размером от 5 мкм со временем накопления 10 с. Запись спектров осуществлялась с помощью программы Labspec v.5, спектры диагностированы с использованием базы данных RRUFF (<http://rruff.info>).

Локализация и состав кухаренкоита-(Ce)

Исследованные образцы представляют собой кварц-альбит-микроклиновые агрегаты с анитом, ильменитом, рутилом, анатазом, кальцитом, монацитом-(Ce), эгирином, магнезиофторарфведсонитом, янжуминитом, мусковитом и пиритом

(рис. 3а). В анатазе и кварце выявлены микрочастицы кухаренкоита-(Ce) размером 5 мкм и 3 мкм (рис. 3б, 3в). В другом участке этого минерального агрегата в зерне анатаза (~100 мкм) встречено включение кухаренкоита-(Ce) размером 7 мкм (рис. 4). Результаты ЭДС анализов двух зерен кухаренкоита-(Ce) из жилы № 35 Вишнёвых гор и эмпирические формулы (табл. 2, ан. 1, 2) отличаются от ранее выявленного в этой жиле хуанхэита-(Ce) (табл. 2, ан. 3) и относительно близки к составу кухаренкоита-(Ce) из Хибин (табл. 2, ан. 4).

КР спектр кухаренкоита-(Ce) из жилы № 35 с дублетом полос 1071 см^{-1} и 1085 см^{-1} симметричных валентных колебаний анионов CO_3^{2-} , сходен со спектром № R110190 кухаренкоита-(Ce) в области

Таблица 1

РЗЭ и редкие минералы жилы № 35 Вишнёвых гор

Table 1

REE and rare minerals of vein no. 35 from the Vishnevy Mountains

Минерал, формула	Тип жил	Первое указание в жиле № 35
Алланит-(Ce) $\text{CaCeFe}^{2+}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$	2, 3	Еськова и др. (1964) («ортит»)
Алланит-(La) $\text{CaLaFe}^{2+}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$	4	*А.В. Касаткин, А.М. Кузнецов, 2020 г.
Анатаз TiO_2	3, 4	Чесноков (1961)
Анкилит-(La) $\text{SrLa}(\text{CO}_3)_2(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	3	*А.В. Касаткин, 2019 г.
Баотит $\text{Ba}_4\text{Ti}_4(\text{Ti}_3\text{Nb})(\text{Si}_4\text{O}_{12})\text{O}_{16}\text{Cl}$	3	Попова и др. (2019а)
Бастнезит-(Ce) $\text{Ce}(\text{CO}_3)\text{F}$	2, 3	Халезова, Назаренко (1959)
Бастнезит-(La) $\text{La}(\text{CO}_3)\text{F}$	2, 3	*А.В. Касаткин, 2019 г.
Бритоилит-(Ce) $(\text{CaCe})\text{Ce}_3(\text{SiO}_4)_3\text{O}$	3	Жабин и др. (1960)
Брукит TiO_2	3, 4	Чесноков (1961)
Виджецит CaNb_2O_6	4	Жабин и др. (1960) («аллномозшинит»)
Ганит ZnAl_2O_4	2	*А.М. Кузнецов, 2016 г.
Гармотом $(\text{Ba,Ca})_2[\text{Al}_3\text{Si}_{11}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	2, 3	Еськова и др. (1964)
Гейландит-Sr $\text{Sr}_2(\text{Al}_4\text{Si}_{14}\text{O}_{36}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	3	*А.М. Кузнецов, 2003 г.
Герцинит FeAl_2O_4	2	Попов и др. (1984)
Голландит $\text{Ba}(\text{Mn}^{4+}_6\text{Mn}^{3+}_2)\text{O}_{16}$	3	*А.В. Касаткин, 2019 г.
Давидит-(La) $\text{LaY}(\text{Ti}_{10}\text{Fe}^{3+}_{10})\text{O}_{38}$	3	*А.В. Касаткин, А.М. Кузнецов, 2019 г.
Дингдаохенгит-(Ce) $\text{Ce}_4\text{Fe}^{2+}(\text{TiFe})\text{Ti}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)_8\text{O}$	2	Попов (2019)
Катаплеит $\text{Na}_3\text{Zr}(\text{Si}_3\text{O}_9)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2	Жабин (1961)
Колумбит-(Fe) $\text{Fe}(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6$	2, 3	А.Г. Жабин, 1959 г. (Еськова и др., 1964)
Колумбит-(Mn) $\text{Mn}(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6$	3	Касаткин и др. (2019)
Кричтонит $\text{Sr}(\text{Ti}_{11}\text{Fe}^{3+}_{10})\text{O}_{38}$	3	Касаткин и др. (2019)
Монацит-(Ce) $\text{Ce}(\text{PO}_4)$	2, 3	Жабин, Свяжин (1962)
Монацит-(La) $\text{La}(\text{PO}_4)$	2	*А.В. Касаткин, А.М. Кузнецов, 2018 г.
Ниобозшинит-(Ce) $\text{Ce}(\text{NbTi})\text{O}_6$	3	Жабин и др. (1961)
Ниобозшинит-(Y) $\text{Y}(\text{NbTi})\text{O}_6$	2	Попова и др. (2019б)
Паризит-(Ce) $\text{CaCe}_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$	2	Попова и др. (2019а)
Пирохлор $(\text{Ca,Na})_2(\text{Nb,Ti})_2\text{O}_6\text{F}$	1–3	Исаков (1942)
Рентгенит-(Ce) $\text{Ca}_3\text{Ce}(\text{CO}_3)_5\text{F}_3$	2, 3	Касаткин и др. (2019)
Синхизит-(Ce) $\text{CaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$	3, 4	Пеков и др. (1996)
Стетиндит-(Ce) $\text{Ce}(\text{SiO}_4)$	4	*А.В. Касаткин, А.М. Кузнецов, 2019 г.
Торианит ThO_2	2	*В.А. Попов, И.А. Блинов, 2018 г.
Торит $\text{Th}(\text{SiO}_4)$	2, 3	Жабин, Казакова (1960)
Торутит ThTi_2O_6	2	*А.В. Касаткин, А.М. Кузнецов, 2019 г.
Фергусонит-(Y) YNbO_4	2	*А.В. Касаткин, 2019 г.
Ферриалланит-(Ce) $\text{CaCeFe}^{3+}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$	2	Касаткин и др. (2019)
Фторбритоилит-(Ce) $\text{Ce}_3\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)_3\text{F}$	4	*А.В. Касаткин, 2021 г.
Хуанхэит-(Ce) $\text{BaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$	2	Попова и др. (2019а)
Церианит-(Ce) CeO_2	2	*А.В. Касаткин, А.М. Кузнецов, 2019 г.
Церит-(Ce) $\text{Ce}_9\text{Fe}(\text{SiO}_4)_6(\text{SiO}_3\text{OH})(\text{OH})_3$	2	Жабин, Свяжин (1962)
Чевкинит-(Ce) $(\text{Ca}_2\text{Ce}_2)\text{Fe}_2\text{Ti}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_8$	2, 3	Исаков (1952)
Шеелит $\text{Ca}(\text{WO}_4)$	3	Касаткин и др. (2019)
Эшинит-(Ce) $\text{Ce}(\text{NbTi})\text{O}_6$	3	Жабин и др. (1960)
Эшинит-(Y) $\text{Y}(\text{NbTi})\text{O}_6$	4	Касаткин и др. (2019)

Примечание. 1–3 – пегматиты: 1 – нефелин-полевошпатовые (миаскитовые), 2 – биотит-полевошпатовые (сиенитовые), 3 – карбонат-пироксен-полевошпатовые («карбонатитовые»); 4 – кварцсодержащие жилки «альпийского» типа (с силикатами вмещающих пород). * – персональное сообщение.

Note. 1–3 – pegmatites: 1 – nepheline-feldspar (miaskitic), 2 – biotite-feldspar (syenitic), 3 – carbonate-pyroxene-feldspar («carbonatitic»), 4 – quartz-bearing veinlets of «alpine» type (with silicate of the host rocks). * – personal communication.

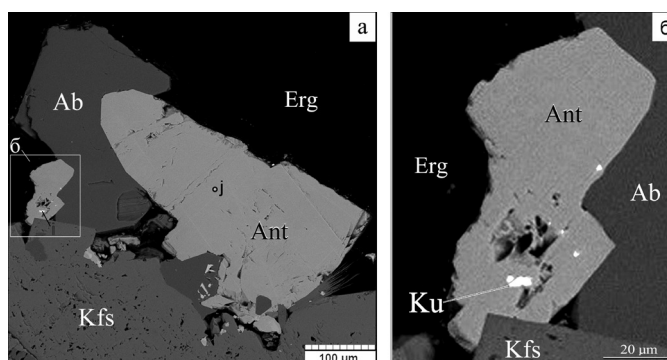


Рис. 4. Включение кухаренкоита-(Ce) в анатазе в ассоциации с альбитом (Ab) и микроклином (Kfs) из жилы № 35. а – вид участка агрегата, б – деталь. BSE фото.

Fig. 4. Inclusion of kukharenkoite-(Ce) in anatase in assemblage with albite (Ab) and feldspar from vein no. 35. а – mineral aggregate, б – detail of the previous image. BSE photo.

Таблица 2

Химический состав (мас. %) кухаренкоита-(Ce) и хуанхэита-(Ce) из жилы № 35 и кухаренкоита-(Ce) из Хибинского массива, Кольский полуостров

Table 2

Chemical composition (wt. %) of kukharenkoite-(Ce) and huanghoite-(Ce) from vein no. 35 and kukharenkoite-(Ce) from Khibiny pluton, Kola Peninsula

Элемент / № ан.	1	2	3	4	Элемент / № ан.	1	2	3	4
BaO	38.58	43.90	37.29	47.39	Nd ₂ O ₃	2.42	2.41	1.87	4.26
SrO	2.39	1.32	1.08	1.55	CO ₃ * [†]	24.15	24.40	21.26	21.95
CaO	–	–	0.17	0.39	H ₂ O*	–	0.92	0.58	–
La ₂ O ₃	6.86	5.49	9.32	6.61	F	2.55	1.59	3.34	3.18
Ce ₂ O ₃	11.68	9.67	27.17	15.3	–O≡F ₂	–1.07	–0.67	–1.41	–1.34
Pr ₂ O ₃	–	–	–	1.19	Сумма	87.56	88.11	100.67	100.63
№ ан.	Эмпирические формулы								
1	(Ba _{1.88} Sr _{0.17}) _{2.05} (Ce _{0.53} La _{0.31} Nd _{0.11}) _{0.95} (CO ₃) ₃ F _{1.00}								
2	(Ba _{2.12} Sr _{0.09}) _{2.21} (Ce _{0.44} La _{0.25} Nd _{0.11}) _{0.80} (CO ₃) ₃ F _{0.62} (OH) _{0.20}								
3	(Ba _{1.01} Sr _{0.04}) _{1.05} (Ce _{0.68} La _{0.24} Nd _{0.05} Ca _{0.01}) _{0.98} (CO ₃) ₂ F _{0.73} (OH) _{0.30}								
4	(Ba _{1.86} Sr _{0.09} Ca _{0.04}) _{1.99} (Ce _{0.56} La _{0.24} Nd _{0.15} Pr _{0.04} Y _{0.01}) _{1.00} (CO ₃) ₃ F _{1.01}								

Примечание. 1–3 – минералы жилы № 35: 1, 2 – кухаренкоит-(Ce), 3 – хуанхэит-(Ce) (Попова и др., 2019а); 4 – кухаренкоит-(Ce) Хибинского массива, среднее из 12 анализов, в сумме ан. 4 примесь Y₂O₃ 0.15 мас. % (Zaitsev et al., 1996); * – здесь и в табл. 3, расчет. Формулы рассчитаны на сумму катионов А + В = 3 (ан. 1, 2) и А + В = 2 (ан. 3).

Note. 1–3 – minerals from vein no. 35: 1, 2 – kukharenkoite-(Ce), 3 – huanghoite-(Ce) (Popova et al., 2019а); 4 – kukharenkoite-(Ce) from Khibiny pluton, average of 12 analyses, analysis no. 4 contains Y₂O₃ 0.15 wt. % (Zaitsev et al., 1996); * – here and in Table 3, calculated data. The formulas are recalculated to cation sum of А + В = 3 (ан. 1, 2) and А + В = 2 (ан. 3).

1200–1000 см⁻¹ из базы данных RRUFF (рис. 5). В связи с размером пятна лазера (5 мкм), превышающим размер неизометричного зерна кухаренкоита-(Ce), в зону анализа попал также и оксид титана, диагностированный как анатаз по спектру в области 700–300 см⁻¹.

Краткая характеристика минералов, ассоциирующих с кухаренкоитом-(Ce)

Многие минералы из кварц-альбит-микрелиновых жил с анатазом, рутилом, ильменитом,

кальцитом, пиритом, монацитом-(Ce), мусковитом, аннитом, эгирином и магнезиофторарфведсонитом охарактеризованы ранее (Бонштедт-Куплетская, 1951; Еськова и др., 1964; Левин и др., 1997; Касаткин и др., 2019; Попов и др., 2016; Попова и др., 2015, 2019а, б; Солодовникова, 1941 и др.). Ниже описаны некоторые минералы из ассоциации с кухаренкоитом-(Ce).

Анатаз обнаружен в виде темно-коричневых субизометричных кристаллов с разными сечениями. Встречается как секториальный (см. рис. 3б), так и относительно однородный (рис. 4) по составу

минерал. В сечении $\sim(110)$ анатаза сектор дипирамиды $\langle 111 \rangle$ выделяется повышенными примесями Nb, Ta, W и Fe (табл. 3, ан. 1) относительно сектора призмы $\langle 110 \rangle$ (табл. 3, ан. 2).

Рутил образует зональные красно-коричневые столбчатые кристаллы и двойники. В продольных сечениях кристаллов и в зонах дипирамиды двойников минерал представлен «ильменорутилом» с содержанием Nb_2O_5 17.84 мас. % (рис. 6а, точка d) и повышенными содержаниями Ta, Fe и W. В поперечном сечении другого кристалла рутила проявлена секториальность состава (рис. 6б): более светлые секторы дипирамиды содержат 16.43 мас. % Nb_2O_5 (табл. 3, ан. 3l) при его существенно меньшем содержании в секторах призмы (табл. 3, ан. 4m). КР спектр минерала отвечает рутилу (рис. 5а).

Ильменит содержит небольшие примеси Nb и Mn (табл. 3, ан. 5), в кальците обнаружена существенная примесь Mn и невысокие содержания Sr и Fe (табл. 3, ан. 6). Монацит-(Ce) характеризуется высокими содержаниями La, а также с примесью Th и Si (табл. 3, ан. 7). Эгирин в образце темно-зеленовато-серый до зеленовато-черного, содержит невысокие примеси K, Mg, Al, Ca и Mn (табл. 3, ан. 8); магнезиофторарфведсонит синевато-серый, высокожелезистый (табл. 3, ан. 9).

В агрегате с калиевым полевым шпатом и альбитом выявлена высокофтористая магниезиальная низкоглиноземистая слюда (рис. 7, табл. 3, ан. 10), предположительно, янжуминит – с дефицитом в позиции А, отличающийся от фторфлогопита более высокими содержаниями SiO_2 и F при пониженном – Al_2O_3 . Состав слюды близок к составу янжуминита $\text{KMg}_{2.5}\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ из редкоземельного месторождения Баян-Обо в Китае (Miyawaki et al., 2011).

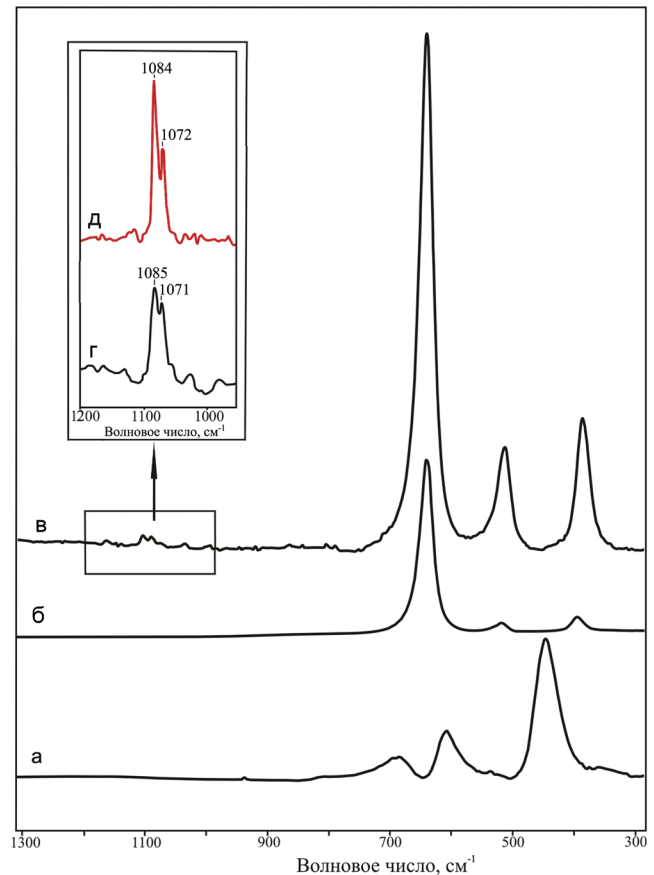


Рис. 5. Рамановские спектры рутила (а), анатаза (б) и кухаренкоита-(Ce) в анатазе (в) из жилы № 35.

Вставка – увеличенный участок КР спектра кухаренкоита-(Ce) (г) в сравнении с участком КР спектра кухаренкоита-(Ce) из базы RRUFF (д, красный).

Fig. 5. Raman spectra of rutile (a), anatase (б) and kukharenkoite-(Ce) in anatase (v) from vein no. 35.

Inset, enlarged area of the Raman spectrum of kukharenkoite-(Ce) (r) in comparison with area of Raman spectrum of kukharenkoite-(Ce) from the base RRUFF (d, red).

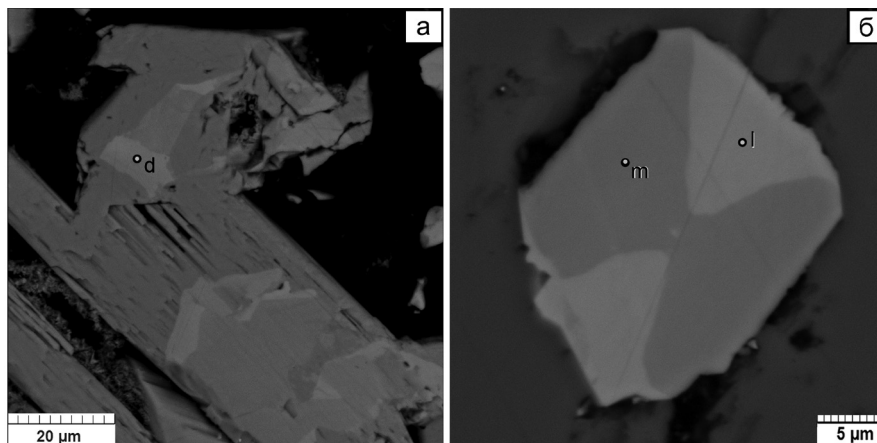


Рис. 6. Зональность (а) и секториальность (б) кристаллов рутила в сечениях. BSE фото.

Fig. 6. Zonation (a) and sectoriality (б) of rutile crystals in cross-sections. BSE photo.

Таблица 3

Химический состав минералов (мас. %) из ассоциации с кухаренкоитом-(Ce) из жилы № 35

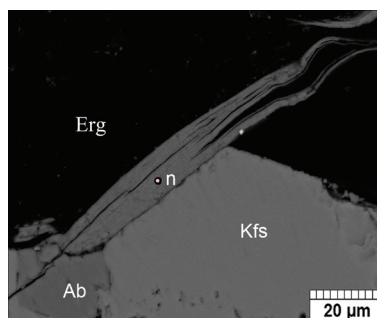
Table 3

Chemical composition of minerals (wt. %) from assemblage with kukharenkoite-(Ce) from vein no. 35

№ ан.	1	2	3l	4m	5	6	7	8	9	10
Na ₂ O	–	–	–	–	–	–	–	13.95	7.73	0.12
K ₂ O	–	–	–	–	–	–	–	1.17	1.64	9.27
CaO	–	–	–	–	–	48.52	–	0.24	1.72	–
MgO	–	–	–	–	–	–	–	0.57	13.47	23.51
FeO	0.38	–	4.81	1.22	48.91	0.03	–	28.79	14.53	1.34
SrO	–	–	–	–	–	0.84	–	–	–	–
MnO	–	–	–	–	0.54	7.17	–	0.32	1.64	–
La ₂ O ₃	–	–	–	–	–	–	26.13	–	–	–
Ce ₂ O ₃	–	–	–	–	–	–	32.91	–	–	–
Pr ₂ O ₃	–	–	–	–	–	–	3.24	–	–	–
Nd ₂ O ₃	–	–	–	–	–	–	5.09	–	–	–
TiO ₂	96.79	98.05	77.23	94.52	49.04	–	–	–	–	–
Nb ₂ O ₅	1.95	0.95	16.43	2.90	0.82	–	–	–	–	–
Ta ₂ O ₅	0.50	0.30	0.80	0.58	–	–	–	–	–	–
ThO ₂	–	–	–	–	–	–	2.16	–	–	–
WO ₃	0.41	0.32	0.63	0.35	–	–	–	–	–	–
P ₂ O ₅	–	–	–	–	–	–	29.69	–	–	–
Al ₂ O ₃	–	–	–	–	–	–	–	0.41	0.82	3.65
SiO ₂	–	–	–	–	–	–	0.77	54.31	54.44	52.02
CO ₂ *	–	–	–	–	–	43.44	–	–	–	–
H ₂ O*	–	–	–	–	–	–	–	–	3.05	–
F	–	–	–	–	–	–	–	–	2.73	7.95
–O≡F ₂	–	–	–	–	–	–	–	–	–1.15	–3.34
Сумма	100.03	99.62	99.90	99.57	99.31	100.0	99.99	99.76	99.47	94.52
Эмпирические формулы										
1	(Ti _{0.98} Nb _{0.01}) _{0.99} O ₂				2	(Ti _{0.99} Nb _{0.01}) _{1.0} O ₂				
3l	(Ti _{0.83} Nb _{0.11} Fe _{0.06}) _{1.0} O ₂				4m	(Ti _{0.97} Nb _{0.02} Fe _{0.01}) _{1.0} O ₂				
5	(Fe _{1.06} Ti _{0.95} Nb _{0.01}) _{2.02} O ₃				6	(Ca _{0.88} Mn _{0.10} Sr _{0.01}) _{0.99} (CO ₃) ₃				
7	(Ce _{0.47} La _{0.38} Nd _{0.07} Pr _{0.05} Th _{0.02}) _{0.99} (P _{0.98} Si _{0.02}) _{1.00} O ₄									
8	Na _{1.00} (Fe ³⁺ _{0.80} K _{0.05} Mg _{0.03} Al _{0.02} Ca _{0.01} Mn _{0.01}) _{0.92} Si ₂ O _{5.80}									
9	(Na _{0.43} K _{0.30}) _{0.73} (Na _{1.73} Ca _{0.27}) _{2.0} (Mg _{2.90} Fe _{1.75} Mn _{0.20}) _{4.85} [(Si _{7.86} Al _{0.14}) _{8.0} O _{22.06}][F _{1.25} (OH) _{0.75}] _{2.0}									
10	(□K _{0.84} Na _{0.02}) _{0.86} (Mg _{2.49} Fe _{0.10}) _{2.59} [(Si _{3.70} Al _{0.31}) _{4.01} O _{10.87}][F _{1.79}									

Примечание. 1, 2 – анатаз (1 – сектор дипирамиды <111>, среднее из шести анализов; 2 – сектор призмы <110>, среднее из пяти анализов; рис. 3b); 3l, 4m – секториальный рутил (рис. 6); 5 – ильменит, 6 – кальцит (среднее из трех анализов); 7 – монацит-(Ce) (Попов, 2019); 8 – эгирин; 9 – магнезиофторарфведсонит; 10 – предположительно, янжуминит (среднее из четырех анализов). Формулы рассчитаны на O = 2 (ан. 1–4) и 3 (ан. 5), сумму катионов (ан. 6), P + Si = 1 (ан. 7), Si + Al = 2 (ан. 8), Si + Al = 8 (ан. 9), Si + Al = 4 (ан. 10).

Notes: Note. 1, 2 – anatase (1 – sector <111>, average of six analyses; 2 – sector <110>, average of five analyses; Fig. 3b); 3l, 4m – sectorial rutile (Fig. 6); 5 – ilmenite; 6 – calcite (average of three analyses); 7 – monazite-(Ce) (Popov, 2019); 8 – aegirine; 9 – magnesio-fluoro-arfvedsonite; 10 – yangzhumingite (?) (average of four analyses). The formulas are recalculated to O = 2 (an. 1–4) and 3 (an. 5), cation sum (an. 6), P + Si = 1 (an. 7), Si + Al = 2 (an. 8), Si + Al = 8 (an. 9) and Si + Al = 4 (an. 10).



В России янжуминит найден на Ермаковском бериллиевом месторождении в Бурятии (Касаткин, 2019) и на Камчатке среди минералов Арсенатной фумаролы вулкана Толбачик (Щипалкина, 2020).

Заключение

В результате исследований в щелочных пегматитах жилы № 35 Вишнёвых гор впервые для Урала выявлены редко встречающиеся минералы – кухаренкоит-(Ce) и, предположительно, янжуминит. Кухаренкоит-(Ce) по составу и КР спектру подобен этому минералу, известному в карбонатах Северной Карелии и Кольского полуострова, в Канаде и Китае (Zaitsev et al., 1996), а также карбонатах рудопроявления Бирая в Забайкалье (webmineral.ru). Можно надеяться, что новые находки более крупных зерен этих минералов в Вишнёвых горах позволят уточнить их характеристику.

Литература

- Бонштедт-Куплетская Э.М.** (1951) Минералогия щелочных пегматитов Вишнёвых гор. М., АН СССР, 170 с.
- Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н.** (1964) Минералогия и геохимия редких элементов Вишнёвых гор. М., Наука, 319 с.
- Жабин А.Г.** (1961) О катаплеите из Вишнёвых гор. *Труды ИМГРЭ*, 7, 100–103.
- Жабин А.Г., Александров В.Б., Казакова М.Е.** (1961) Об эшините гидротермального генезиса из Вишнёвых гор. *Труды ИМГРЭ*, 7, 108–112.
- Жабин А.Г., Казакова М.Е.** (1960) О торите из щелочного комплекса Вишнёвых гор на Урале. *ДАН СССР*, 134(1), 164–167.
- Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н.** (1959) О гипогенном ореоле выноса редких земель вокруг Вишневогорско-Ильменогорской интрузии миасцитов (Южный Урал). *ДАН СССР*, 126(5), 1055–1057.
- Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н., Казакова М.Е.** (1960) Парагенетические ассоциации акцессорных минералов редких элементов в экзоконтактовых фенитизи-

Рис. 7. Сросток янжуминита (n) (предположительно) с альбитом (Ab) и калиевым полевым шпатом (Kfs) в жиле № 35. BSE-фото.

Fig. 7. Aggregate of yangzhumingite (n) (?), albite (Ab) and K feldspar (Kfs) in vein no. 35. BSE-photo.

рованных породах интрузии миасцитов Вишнёвых гор. *Труды ИМГРЭ АН СССР*, 4, 51–73.

Жабин А.Г., Свяжин Н.В. (1962) О концентрически-зональных агрегатах редкоземельных минералов из щелочного комплекса Вишнёвых гор. *Труды ИМГРЭ*, 9, 55–66.

Исаков М.Г. (1942) Материалы к изучению Вишневогорского месторождения ниобия. Фонды треста «Уралредметразведка», 135 с.

Исаков М.Г. (1952) Материалы к изучению и промышленной оценке Вишневогорского месторождения редких земель. Свердловск, Уральская экспедиция треста «Союзметразведка», 27 с.

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

Касаткин А.В. (2019) Новые находки редких минералов на территории постсоветских государств. *Минералогический альманах*, 24(2), 4–47.

Касаткин А.В., Шкода Р., Нестола Ф., Кузнецов А.М., Белогуб Е.В., Агаханов А.А. (2019) Рентгенит-(Ce) и другие фторкарбонаты РЗЭ из жилы № 35, Вишнёвые горы, Южный Урал. *Минералогия*, 5(2), 10–22.

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

Пеков И.В., Куликова И.М., Никандров С.Н. (1996) О составе редкоземельных карбонатов из гидротермалитов Вишневогорского щелочного комплекса. *Уральская летняя минералогическая школа–96*. Екатеринбург, УГГА, УрО ВМО, 137–141.

Попов В.А. (2019) Концентрически-зональный агрегат редкоземельных минералов в полевошпатовом пегматите Вишнёвых гор на Южном Урале. *Минералогия*, 5(1), 24–28.

Попов В.А., Блинов И.А., Попова В.И. (2016) Синтаксия титанита, эгирина и экрманнита в щелочных сиенитовых пегматитах Вишнёвых гор (Южный Урал). *Минералогия*, 2(2), 3–9.

Попов В.А., Никандров С.Н., Нишанбаев Т.П., Ахлюстин В.Е. (1984) О корундовой минерализации Буддымского массива Вишнёвых гор / Материалы по

минералогии месторождений Урала. Свердловск, УНЦ АН СССР, 34–36.

Попова В.И., Попов В.А., Блинов И.А., Котляров В.А., Касаткин А.В., Шкода Р., Лебедева С.М. (2019а). Новые находки редких минералов в пегматитах Вишнёвых гор на Южном Урале. *Минералогия*, **5**(1), 3–14.

Попова В.И., Попов В.А., Касаткин А.В., Кузнецов А.М. (2019б). Минералы группы эшинита из Вишнёвых гор (Южный Урал). *Минералогия*, **5**(3), 16–25.

Попова В.И., Попов В.А., Никандров С.Н., Чурин Е.И., Блинов И.А., Хворов П.В. (2015). Карбонаты Вишневогорского Zr-Nb-месторождения (Южный Урал). *Минералогия*, **1**(4), 91–102.

Роненсон Б.М. (1966) Происхождение миаскитов и связь с ними редкометалльного оруденения. М., Недра, 173 с.

Солодовникова Л.Л. (1941) Полевые шпаты Вишневогорского месторождения на Урале. *Ученые записки ЛГУ, серия геолого-почвенных наук*, **10**, 126–150.

Халезова Е.Б., Назаренко И.И. (1959) О бастнезите Вишнёвых гор. *Труды ИМГРЭ АН СССР*, **2**, 99–101.

Чесноков Б.В. (1961) Новые минералы из Вишнёвых гор на Урале. *Труды горно-геологического института УФАИ СССР*, **56**, 63–69.

Щипалкина Н.В. (2020) Силикаты эксгаляционно-го происхождения и их синтетические аналоги: химический состав, кристаллохимия, генетические особенности. Автореферат диссертации кандидата геолого-минералогических наук. М., МГУ, 25 с.

Miyawaki R., Shimazaki H., Shigeoka M., Yokoyama K., Matsubara S., Yurimoto H. (2011) Yangzhumingite, $\text{KMg}_{2.5}\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$, a new mineral in the mica group from Bayan Obo, Inner Mongolia, China. *European Journal of Mineralogy*, **23**, 467–473.

Zaitsev A.N., Yakovenchuk V.N., Chao G.J., Gault R.A., Subbotin V.V., Pakhomovsky Y.A., Bogdanova A.N. (1996) Kukharengoite-(Ce), $\text{Ba}_2\text{Ce}(\text{CO}_3)_3\text{F}$, a new mineral from Kola Peninsula, and Quebec, Canada. *European Journal of Mineralogy*, **8**(6), 1327–1336.

References

Bonshtedt-Kupletskaya E.M. (1951) [Mineralogy of alkali pegmatites of the Vishnevy Mountains]. Moscow, AN SSSR, 170 p. (in Russian)

Chesnokov B.V. (1961) [New minerals from the Vishnevy Mountains in the Urals]. *Trudy gorno-geologicheskogo instituta UFAN SSSR [Proceedings of Mining-Geological Institute of the UBAS USSR]*, **56**, 63–69. (in Russian)

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

Isakov M.G. (1942) [Materials for the study of the Vishnevogorsky Nb deposit]. *Fondy tretsta «Uraltsvetmetrazvedka»* [Funds of «Uralredmetrazvedka» Trust], 135 p. (in Russian)

Isakov M.G. (1952) [Materials for study and economic evaluation of the Vishnevogorsk REE deposit]. Sverdlovsk, Ural Expedition of «Soyuzmetrazvedka» Trust, 27 p. (in Russian)

Isakov M.G., Sennikov F.A., Vodop'yanov V.D. (1950) [Calculation of reserves for the Vishnevogorsky Nb deposit on 01.01.1950] Book 1. Vishnevogorsk, Vishnevogorskaya GRP, 320 p. (in Russian)

Kasatkin A.V. (2019) [New findings of rare minerals in the territory of the post-soviet states]. *Mineralogicheskii almanach [Mineralogical Almanac]*, **24**(2), 4–47. (in Russian)

Kasatkin A.V., Shkoda R., Nestola F., Kuznetsov A.M., Belogub E.V., Agakhanov A.A. (2019) [Röntgenite-(Ce) and other REE fluorocarbonates from Vein No. 35, Vishnevy Mountains, Southern Urals]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(2), 10–22. (in Russian)

Khalezova E.B., Nazarenko I.I. (1959) [Bastnäsite of the Vishnevy Mountains]. *Trudy IMGRE AN SSSR [Proceedings of Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Earth Elements AS USSR]*, **2**, 99–101. (in Russian)

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

Miyawaki R., Shimazaki H., Shigeoka M., Yokoyama K., Matsubara S., Yurimoto H. (2011) Yangzhumingite, $\text{KMg}_{2.5}\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$, a new mineral in the mica group from Bayan Obo, Inner Mongolia, China. *European Journal of Mineralogy*, **23**, 467–473.

Pekov I.V., Kulikova I.M., Nikandrov S.N. (1996) [Composition of REE carbonates from hydrothermalites of the Vishnevogorsk alkaline complex]. In: *Uralskaya letnyaya mineralogicheskaya shkola. Ural Summer Mineralogical School-96*. Yekaterinburg, UGGA, UrO WMO, 137–141. (in Russian)

Popov V.A. (2019) [Concentric-zonal aggregate of REE minerals in feldspar pegmatite of the Vishnevy Mountains in the Southern Urals]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(1), 24–28. (in Russian)

Popov V.A., Blinov I.A., Popova V.I. (2016) [Syntaxy of titanite, aegirine and eckermannite in alkali syenite pegmatites of the Vishnevy Mountains]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **2**(2), 3–9. (in Russian)

Popov V.A., Nikandrov S.N., Nishanbayev T.P., Akhlyustin V.E. (1984) [Corundum mineralization of the Buldym block of the Vishnevy Mountains]. In: *Materialy po mineralologii uralskikh mestorozhdeniy [Materials on mineralogy of the Ural deposits]*. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 34–36. (in Russian)

- Popova V.I., Popov V.A., Blinov I.A., Kotlyarov V.A., Kasatkin A.V., Shkoda R., Lebedeva S.M.** (2019a). [New findings of rare minerals in pegmatites of the Vishnevye Mountains in the Southern Urals]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(1), 3–14. (in Russian)
- Popova V.I., Popov V.A., Kasatkin A.V., Kuznetsov A.M.** (2019b). [Aeschynite group minerals from the Vishnevye Mountains (South Urals)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(3), 16–25. (in Russian)
- Popova V.I., Popov V.A., Nikandrov S.N., Churin E.I., Blinov I.A., Khvorov P.V.** (2015). [Carbonates from the Vishnevogorskoe Zr-Nb deposit (Southern Urals)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **1**(4), 91–102. (in Russian)
- Ronenson B.M.** (1966). [Origin of miaskites and related rare metal mineralization]. Moscow, Nedra, 173 p. (in Russian)
- Solodovnikova L.L.** (1941). [Feldspars of the Vishnevogorsk deposit in the Urals]. *Uchenye zapiski LGU, seriya geologo-pochvennykh nauk [Scientific Notes of Leningrad State University, series of geological-soil sciences]*, **10**, 126–150. (in Russian)
- Shchipalkina N.V.** (2020). [Exhalative silicates and their synthetic analogs: chemical composition, crystal chemistry, genetic features]. Abstract of Dissertation for the Degree of Candidate of Geological-Mineralogical Sciences. Moscow, Moscow State University, 25 p. (in Russian)
- Zaitsev A.N., Yakovenchuk V.N., Chao G.J., Gault R.A., Subbotin V.V., Pakhomovsky Y.A., Bogdanova A.N.** (1996). Kukharenkoite-(Ce), $Ba_2Ce(CO_3)_3F$, a new mineral of the Kola Peninsula and Canadian Quebec. *European Journal of Mineralogy*, **8**(6), 1327–1336.
- Zhabin A.G.** (1961). [Catapleite from the Vishnevye Mountains]. *Trudy IMGRE [Proceedings of Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Earth Elements]*, **7**, 100–103. (in Russian)
- Zhabin A.G., Alexandrov V.B., Kazakova M.E.** (1961). [Hydrothermal aeschynite from the Vishnevye Mountains]. *Trudy IMGRE [Proceedings of Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Earth Elements AS USSR]*, **7**, 108–112. (in Russian)
- Zhabin A.G., Kazakova M.E.** (1960). [Thorite from the alkaline complex of the Vishnevye Mountains in the Urals]. *Doklady AN SSSR*, [Reports of Academy of Sciences USSR], **134**(1), 164–167. (in Russian)
- Zhabin A.G., Mukhitdinov G.N.** (1959). [Hypogenic halo of REE removal around the Vishnevogorsk-Ilmenogorsk miaskite intrusion (Southern Urals)]. *Doklady AN SSSR*, **126**(5), 1055–1057. (in Russian)
- Zhabin A.G., Mukhitdinov G.N., Kazakova M.E.** (1960). [Paragenetic assemblages of accessory REE minerals at the contact of fenitized rocks of the miaskite intrusion of the Vishnevye Mountains]. *Trudy IMGRE AN SSSR [Proceedings of Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Earth Elements AS USSR]*, **4**, 51–73. (in Russian)
- Zhabin A.G., Svyahzin N.V.** (1962). [Concentric-zonal aggregates of REE minerals from the alkaline complex of the Vishnevye Mountains]. *Trudy IMGRE [Proceedings of Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Earth Elements AS USSR]*, **9**, 55–66. (in Russian)