МИНЕРАЛЫ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ

УДК 549.8 (234.853)

НОВЫЕ НАХОДКИ РЕДКИХ МИНЕРАЛОВ В ПЕГМАТИТАХ ВИШНЁВЫХ ГОР НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

В.И. Попова¹, В.А. Попов¹, И.А. Блинов¹, В.А. Котляров¹, А.В. Касаткин², Р. Шкода³, С.М. Лебедева¹

¹Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; popov@mineralogy.ru ²Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва ³Масариков университет, г. Брно, Чехия

NEW FINDINGS OF RARE MINERALS IN PEGMATITES OF VISHNEVYE MOUNTAINS IN THE SOUTHERN URALS

V.I. Popova¹, V.A. Popov¹, I.A. Blinov¹, V.A. Kotlyarov¹, A.V. Kasatkin², R. Škoda³, S.M. Lebedeva¹ ¹Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Chelyabinsk district, 456317 Russia; popov@mineralogy.ru ²Fersman Mineralogical Museum of RAS, Moscow; ³Masaryk University, Brno, Czech Republic

В щелочных пегматитах Вишнёвых гор дополнительно к 221 известным выявлено 11 редких минералов. Впервые на Урале обнаружены иттриалит-(Y) Y₂(Si₂O₇) и хуанхэит-(Ce) BaCe(CO₃)₂F. Впервые в Вишнёвых горах найдены анкилит-(La) Sr(La,Ce)(CO₃)₂(OH) · H₂O, баотит Ba₄Ti₄(Ti₃Nb)(Si₄O₁₂)O₁₆Cl, бастнезит-(La) (La,Ce)(CO₃)F, гидроксилбастнезит-(La) (La,Ce)(CO₃)(OH), гидроксилбастнезит-(Ce) (Ce,La)(CO₃)(OH), паризит-(Ce) CaCe₂(CO₃)₃F₂, фергусонит-(Ce) CeNbO₄, монацит-(La) (La,Ce)PO₄, лукасит-(Ce) CeTi₂O₅(OH), а также более распространенные арсенопирит FeAsS и гессит Ag₂Te. В статье описаны минеральные ассоциации и приведен химический состав этих минералов, а для некоторых минералов – KP спектры.

Илл. 11. Табл. 4. Библ. 25.

Ключевые слова: иттриалит-(Y), баотит, хуанхэит-(Ce), анкилит-(La), бастнезит-(La), гидроксилбастнезит-(Ce), паризит-(Ce), монацит-(La), фергусонит-(Ce), лукасит-(Ce), щелочный пегматиты, Вишнёвые горы, Урал.

In addition to previously known 221 minerals, 11 new rare minerals were identified in alkali pegmatites of the Vishnevye Mountains. Yttrialite-(Y) $Y_2(Si_2O_7)$ and huanghoite-(Ce) BaCe(CO₃)₂F were found for the first time in the Urals. Ancylite-(La) SrLa(CO₃)₂(OH) · H₂O, baotite Ba₄Ti₄(Ti₃Nb) (Si₄O₁₂)O₁₆Cl, bastnäsite-(La) La(CO₃)F, hydroxylbastnäsite-(La) La(CO₃)(OH), hydroxylbastnäsite-(Ce) Ce(CO₃)(OH), parisite-(Ce) CaCe₂(CO₃)₃F₂, fergusonite-(Ce) CeNbO₄, monazite-(La) La(PO₄), and lucasite-(Ce) CeTi₂O₅(OH) and more abundant arsenopyrite FeAsS and hessite Ag₂Te were found for the first time in the Vishnevye Mountains. The paper describes the mineral assemblages, chemical compositions of minerals, and Raman spectra of some minerals.

Figures 11. Tables 4. References 25.

Key words: yttrialite-(Y), baotite, uanghoite-(Ce), ancylite-(La), bastnäsite-(La), hydroxylbastnäsite-(La), hydroxylbastnäsite-(Ce), parisite-(Ce), fergusonite-(Ce), monazite-(La), lucasite-(Ce), alkali pegmatites, Vishnevye Mountains, Urals.

Введение

За период с 1884 г. по 1998 г. на территории Вишнёвых гор (от г. Мохнатой на севере до р. Маук на юге) в щелочных породах и пегматитах выявлено 114 минералов, сведения о нахождении и составе которых приведены в ряде монографий (Бонштедт-Куплетская, 1951; Еськова и др., 1964; Кобяшев и др., 1998) и статьях разных исследователей. На 2018 г. сводный список минералов, известных в Вишнёвых горах, включал 221 вид. Данные за первую часть этого двадцатилетнего периода вошли в сводку (Кобяшев, Никандров, 2007). Более поздние данные можно найти в публикациях в российских журналах (Доклады академии наук, Записки минералогического общества, Геология рудных месторождений, Литосфера, Минералогия, Уральский геологический журнал), тематических сборниках, материалах совещаний, конференций, научных школ, а также в иностранных журналах.

В 2018 г. еще 13 минералов диагностированы в Центре коллективного пользования ИМин УрО РАН с использованием сканирующих электронных микроскопов Tescan Vega3 sbu с ЭДС Oxford Instruments X-act (аналитик И.А. Блинов) и РЭММА-202М с ЭДС LZ-5 Link с Si-Li-детектором (аналитик В.А. Котляров) при ускоряющем напряжении 20-30 кВ. Часть анализов выполнена на волновом микроанализаторе Camebax SX 100 в лаборатории электронной микроскопии и микроанализа Департамента геологических наук Масарикова университета и Чешской геологической службы (г. Брно, Чехия) при ускоряющем напряжении 15 кВ и токе зонда 20 нА (аналитик Р. Шкода). Спектры комбинационного рассеяния (КР) получены на спектрометре iHR 320 LabRAM фирмы Horiba Jobin Yvon HR 320 с He-Ne лазером (длина волны возбуждения 632.8 нм), микроскопом Olympus BX41, TV камерой и охлаждаемым CCD детектором, спектральная ширина щели 2 см⁻¹ (аналитик С.М. Лебедева). Спектры КР регистрировались в диапазоне 100–2000 см⁻¹ на участках размером от 10 мкм и записаны в программе Labspec v. 5. Минералы диагностировались с использованием базы данных RRUFF (http://rruff. info).

Результаты исследований

Иттриалит-(Y) Y₂(Si₂O₂) впервые был найден в 1889 г. в пегматитах Техаса (США); в России он был ранее описан в пегматитах Кольского полуострова и Сибири (Минералы, 1972). Нами минерал обнаружен кальцит-нефелин-биотит-полевошпатовом прожилке с редким пиритом и кварцем, рассекающим мезократовый биотитовый миаскит, в виде мелких вростков в зональном кристалле циркона в образце В-49 из небольшой субмеридиональной выработки жилы № 5 на южном склоне горы Каравай. Зёрна иттриалита-(Ү) размером до 5-18 мкм (рис. 1) образуют рассеянные включения в цирконе в ассоциации с ксенотимом-(Y) и торитом, но срастания этих двух минералов с иттриалитом-(Y) не встречены. Состав иттриалита-(Y) варьирует (табл. 1), а при меньшем содержании SiO₂ и повышенном CaO близок бритолиту-(Y) (табл. 1, ан. 49m). В составе циркона есть примесь HfO₂ 0.4-0.74 мас.%, а иттрий и прочие примеси не выявлены.

Баотит Ва₄Ti₄(Ti₃Nb)(Si₄O₁₂)O₁₆Cl впервые открыт в 1961 г. в месторождении Баян-Обо (Семёнов и др., 1961). В России минерал описан в щелочных метасоматитах редкометалльного месторождения Сибирка Западно-Уральского поля (Ефимов, Еськова, 1973; Еськова и др., 1982) и в Хибинском массиве



Рис. 1. Кристалл циркона из кальцит-нефелин-биотит-полевошпатового прожилка жилы № 5 (а) с цирконом (Zrn) (б) и вростки иттриалита-(Y) (Ytr) в нем (в–д).

a, d, h, i – точки анализа. Фото б–г – СЭМ Tescan Vega3.

Fig. 1. Quartz-nepheline-feldspar veinlet in vein no. 5 (a) with zircon (Zrn) (6) and inclusions of yttrialite-(Y) (Ytr) in zircon (B-д).

a, d, h, i – points of analysis. Photo 6-r – SEM Tescan Vega3.

а
'n
n
Ś.
a.
6

Table 1

Химический состав (мас. %) иттриалита-(Y) из жилы № 5

Chemical composition (wt. %) of the yttrialite-(Y) from vein no. 5

)B)						12(OH)	ıн. 49k	3, 0.0 ⁷
	Расчетные формулы (ан. 49а, d, h, i – на Si = 2, ан. 49k – на O = 7, 49m – на 13 анионов	${}^{1,2}_{1,2}Yb_{0,20}Th_{0,12}Er_{0,09}Dy_{0,07}Fe_{0,06}Ho_{0,03}Ca_{0,03}Ce_{0,02}Gd_{0,02}Tb_{0,02}Tm_{0,02}U_{0,01})_{\Sigma1,93}(Si_2O_{6,91})$	$^{1.3}_{1.3}\mathrm{Yb}_{0.18}\mathrm{Er}_{0.11}\mathrm{Dy}_{0.08}\mathrm{Gd}_{0.04}\mathrm{Th}_{0.04}\mathrm{Ce}_{0.03}\mathrm{Ho}_{0.02}\mathrm{Fe}_{0.02}\mathrm{Ca}_{0.02})_{\Sigma192}(\mathrm{Si}_{2}\mathrm{O}_{6.84})$	$^{10}_{101}\mathrm{Ca}_{0.35}\mathrm{Yb}_{0.17}\mathrm{Er}_{0.12}\mathrm{Dy}_{0.06}\mathrm{Gd}_{0.05}\mathrm{Th}_{0.03}\mathrm{Ho}_{0.02}\mathrm{Ce}_{0.02} ight)_{2.01}(\mathrm{Si}_{2}\mathrm{O}_{6.76})$	$_{1.04}$ C $a_{0.38}$ Y $b_{0.18}$ E $r_{0.12}$ D $y_{0.06}$ G $d_{0.05}$ T $h_{0.03}$ H $o_{0.02}$ C $e_{0.01}$) $_{2.09}$ (Si $_2$ O $_{6.87}$)	${}_{125}\mathrm{Yb}_{0.13}\mathrm{Er}_{0.10}\mathrm{Dy}_{0.07}\mathrm{Gd}_{0.03}\mathrm{Ce}_{0.02}\mathrm{Ho}_{0.02}\mathrm{Tm}_{0.02}\mathrm{Lu}_{0.02}\mathrm{Tb}_{0.01}\mathrm{Ca}_{0.03}\mathrm{Fe}^{3+}{}_{0.07}\mathrm{Th}_{0.12}\mathrm{U}_{0.01}\mathrm{S1}_{1.90}\mathrm{S1}_{2.03}\mathrm{O_7}$	${}^{245} Yb_{0.26} Et_{0.22} Dy_{0.15} Gd_{0.06} Ce_{0.03} Ho_{0.04} Tm_{0.03} Lu_{0.04} Sm_{0.01} Tb_{0.01} Ca_{1.15} Fe^{2+} \\ {}^{0.02} Th_{0.16} U_{0.01}) \\ {}^{246} Si_{15.02} O_{12} Ca_{12} Sh_{0.02} Ca_{12} Ca_{12$	m,O ₃ , 1.01 FeO, 0.73 Tb,O ₃ , 0.60 UO ₃ ; ан. 49d – FeO 0.40; ан. 49i – 0.18 Nd ₂ O ₃ ; ан	, О., 0.13 и 0.13 Sm, О., 0.27 и 0.20 Тb, О., 1.02 и 0.74 Tm, О., 1.16 и 1.02 Ľu, О.,
,	Ma	.54 (Y	.68 (Y	(Y) 69.	.81 (Y	.05 (Y	.03 (Y	1.07 T	.06 Nd
	Cy	99.	94.	98.	97.	99.	98.	a –	3 и 0.
	5				_	-		5	S
•	$\left ThO_2 \right $	8.21	2.94	2.52	2.00	8.37	5.71	: ан. 49	0.0
•	$ Ho_2O_3 ThO_2 $	1.27 8.21	0.81 2.94	0.94 2.52	1.10 2.00	1.16 8.37	1.04 5.71	лас. %: ан. 49	7 La,O ₃ , 0.0
•	$\left Gd_2O_3 \right Ho_2O_3 \left ThO_2 \right $	0.87 1.27 8.21	1.83 0.81 2.94	2.42 0.94 2.52	2.63 1.10 2.00	1.31 1.16 8.37	1.37 1.04 5.71	тьно, мас. %: ан. 49	t и 0.07 La ₂ O ₃ , 0.0
	$\left[Yb_2O_3 \right] Gd_2O_3 \left Ho_2O_3 \right Ho_2O_3 \left ThO_2 \right $	10.20 0.87 1.27 8.21	8.85 1.83 0.81 2.94	9.47 2.42 0.94 2.52	9.63 2.63 1.10 2.00	6.63 1.31 1.16 8.37	6.73 1.37 1.04 5.71	лнительно, мас. %: ан. 49	о, 0.04 и 0.07 La ₂ O ₃ , 0.0
	$\left \mathrm{Er}_2 \mathrm{O}_3 \right \mathrm{Yb}_2 \mathrm{O}_3 \left \mathrm{Gd}_2 \mathrm{O}_3 \right \mathrm{Ho}_2 \mathrm{O}_3 \left \mathrm{ThO}_2 \right $	4.56 10.20 0.87 1.27 8.21	5.24 8.85 1.83 0.81 2.94	6.24 9.47 2.42 0.94 2.52	6.30 9.63 2.63 1.10 2.00	5.09 6.63 1.31 1.16 8.37	5.50 6.73 1.37 1.04 5.71	; дополнительно, мас. %: ан. 49	9 Fe,O ₃ , 0.04 и 0.07 La,O ₃ , 0.0
	$Dy_2O_3 \left Er_2O_3 \right Yb_2O_3 \left Gd_2O_3 \right Ho_2O_3 \left ThO_2 \right $	3.41 4.56 10.20 0.87 1.27 8.21	3.62 5.24 8.85 1.83 0.81 2.94	3.03 6.24 9.47 2.42 0.94 2.52	3.02 6.30 9.63 2.63 1.10 2.00	3.47 5.09 6.63 1.31 1.16 8.37	3.67 5.50 6.73 1.37 1.04 5.71	илизов дополнительно, мас. %: ан. 49	и 0.19 Fe,O ₃ , 0.04 и 0.07 La,O ₃ , 0.0
*	$Ce_2O_3\left[Dy_2O_3\right]Er_2O_3\left[Yb_2O_3\right]Gd_2O_3\left[Ho_2O_3\right]ThO_2\left[Vb_2O_3\right]ThO_2O_3$	0.80 3.41 4.56 10.20 0.87 1.27 8.21	1.36 3.62 5.24 8.85 1.83 0.81 2.94	0.77 3.03 6.24 9.47 2.42 0.94 2.52	0.47 3.02 6.30 9.63 2.63 1.10 2.00	0.86 3.47 5.09 6.63 1.31 1.16 8.37	0.60 3.67 5.50 6.73 1.37 1.04 5.71	ме анализов дополнительно, мас. %: ан. 49	– 1.44 и 0.19 Fe,O ₃ , 0.04 и 0.07 La,O ₃ , 0.0
4	$CaO \left[Ce_2O_3\right]Dy_2O_3 \left[Er_2O_3\right]Yb_2O_3 \left[Gd_2O_3\right]Ho_2O_3 \left[ThO_2\right]$	0.41 0.80 3.41 4.56 10.20 0.87 1.27 8.21	0.30 1.36 3.62 5.24 8.85 1.83 0.81 2.94	8.32 0.77 3.03 6.24 9.47 2.42 0.94 2.52	8.74 0.47 3.02 6.30 9.63 2.63 1.10 2.00	0.44 0.86 3.47 5.09 6.63 1.31 1.16 8.37	8.53 0.60 3.67 5.50 6.73 1.37 1.04 5.71	В сумме анализов дополнительно, мас. %: ан. 49	зенно – 1.44 и 0.19 Fe ₂ O ₃ , 0.04 и 0.07 La ₂ O ₃ , 0.0
4	$Y_2O_3 CaO Ce_2O_3 Dy_2O_3 Er_2O_3 Yb_2O_3 Gd_2O_3 Ho_2O_3 ThO_2 O_2 Dy_2O_3 Dy_2O$	35.71 0.41 0.80 3.41 4.56 10.20 0.87 1.27 8.21	38.85 0.30 1.36 3.62 5.24 8.85 1.83 0.81 2.94	31.60 8.32 0.77 3.03 6.24 9.47 2.42 0.94 2.52	31.57 8.74 0.47 3.02 6.30 9.63 2.63 1.10 2.00	35.87 0.44 0.86 3.47 5.09 6.63 1.31 1.16 8.37	36.66 8.53 0.60 3.67 5.50 6.73 1.37 1.04 5.71	<i>аание</i> . В сумме анализов дополнительно, мас. %: ан. 49	ветственно – 1.44 и 0.19 Fe ₂ O ₃ , 0.04 и 0.07 La ₂ O ₃ , 0.0
4	$SiO_2 \left \begin{array}{c} Y_2O_3 \end{array} \right CaO \left \begin{array}{c} Ce_2O_3 \end{array} \right Dy_2O_3 \left Er_2O_3 \right Yb_2O_3 \left Gd_2O_3 \right Ho_2O_3 \right ThO_2 \right Co_2 Co_2 \left Ce_2O_3 \right ThO_2 \left Ce_2O_3 \right ThO_2$	30.69 35.71 0.41 0.80 3.41 4.56 10.20 0.87 1.27 8.21	30.48 38.85 0.30 1.36 3.62 5.24 8.85 1.83 0.81 2.94	33.38 31.60 8.32 0.77 3.03 6.24 9.47 2.42 0.94 2.52	32.35 31.57 8.74 0.47 3.02 6.30 9.63 2.63 1.10 2.00	31.15 35.87 0.44 0.86 3.47 5.09 6.63 1.31 1.16 8.37	24.10 36.66 8.53 0.60 3.67 5.50 6.73 1.37 1.04 5.71	<i>Iримечание</i> . В сумме анализов дополнительно, мас. %: ан. 49	1, соответственно – 1.44 и 0.19 Fe ₂ O ₃ , 0.04 и 0.07 La ₂ O ₃ , 0.0
	$ \begin{array}{c c} M_{\text{a}} & \text{SiO}_2 & \text{Y}_2\text{O}_3 & \text{CaO} & \text{Ce}_2\text{O}_3 & \text{D}\text{y}_2\text{O}_3 & \text{Er}_2\text{O}_3 & \text{Fd}_2\text{O}_3 & \text{Ho}_2\text{O}_3 & \text{ThO}_2 & \text{I}_2\text{O}_2 & \text{I}_2\text{O}_3 & \text{I}_2$	49a 30.69 35.71 0.41 0.80 3.41 4.56 10.20 0.87 1.27 8.21	49d 30.48 38.85 0.30 1.36 3.62 5.24 8.85 1.83 0.81 2.94	49h 33.38 31.60 8.32 0.77 3.03 6.24 9.47 2.42 0.94 2.52	49i 32.35 31.57 8.74 0.47 3.02 6.30 9.63 2.63 1.10 2.00	49k 31.15 35.87 0.44 0.86 3.47 5.09 6.63 1.31 1.16 8.37	49m 24.10 36.66 8.53 0.60 3.67 5.50 6.73 1.37 1.04 5.71	<i>Примечание</i> . В сумме анализов дополнительно, мас. %: ан. 49	и 49m, соответственно – 1.44 и 0.19 Fe ₂ O ₃ , 0.04 и 0.07 La ₂ O ₃ , 0.0

и 0.03 Sc₂O₃, 0.42 и 0.41 UO₂, 0.12 и 0.07 PbO; в ан. 49m 1.2 H₂O_{рест}. Здесь и далее прочерк – не обнаружено. Ан. 49a, d – СЭМ Tescan Vega3; ан. 49h, i – СЭМ PЭММА-202M; ан. 49k, m – Camebax SX 100. См. текст.

Note. Analyses also include (wt. %): 49a - 1.07 Tm, O₃, 1.01 FeO, 0.73 Tb, O₃, UO, 0.60; 49d - 0.40 FeO; 49k and 49m, accordingly - 1.44 and 0.19 Fe, O₃, 0.04 and 0.07 La, 0,, 0.03 and 0.06 Nd, 0,, 0.13 and 0.13 Sm, 0,, 0.27 and 0.20 Tb, 0,, 1.02 and 0.74 Tm, 0,, 1.16 and 1.02 Lu, 0,, 0.07 and 0.03 Sc, 0,, 0.42 and 0.41 UO,, 0.12 and 0.07 PbO; in analysis 49m 1.2 H₂O_{cale}. Here and further: dash – not found. Analyses 49a, d – Tescan Vega3, 49h, i – P3MMA-202M, 49k, m – Camebax SX 100. See text. на Кольском полуострове (Пеков и др., 2000). В Вишнёвых горах обнаружен в виде включения размером ~40 мкм в бастнезите-(Се), замещенном с периферии паризитом-(Се) и синхизитом-(Се) (рис. 2а, б). Образец с бастнезитом был отобран Н.И. Антоновым в выработке жилы № 35 на западном склоне г. Долгой, и один кристаллик передан нам А.М. Кузнецовым. В бастнезите-(Се) есть вростки калиевого полевого шпата, магнезиоарфведсонита, флогопита, чевкинита-(Се), альбита, кварца и рутила с примесями Nb, Fe и V («ильменорутила).

Состав баотита, мас. %: ВаО 36.29, SrO 1.52, ТіО, 35.23, Nb,O, 7.35, SiO, 16.47, Cl 2.18, сумма 99.04 (СЭМ РЭММА-202М). При расчете на четыре атома Si этот состав отвечает формуле $(Ba_{3,45}Sr_{0.22})_{3.67}Ti_4(Ti_{2.44}Nb_{0.81})_{3.25}(Si_4O_{12})_{14.62}Cl_{0.9}(O,OH)$ c заметным дефицитом катионов в позициях А и В, что может быть обусловлено избытком SiO₂ из-за соседних микрозерен кварца. После дополировки в составе его определены (среднее из 4-х близких анализов), мас. %: ВаО 37.27, SrO 0.94, TiO₂ 27.19, Nb₂O₅ 14.54, SiO₂ 14.74, Cl 2.08, а также примеси Fe₂O₂ 2.64, WO₂ 1.35, PbO 0.06, CaO 0.03 и Al₂O₂ 0.18, -O = Cl 0.47, сумма 100.55 (Camebax SX 100, аналитик Р. Шкода); эмпирическая формула при расчете на 29 анионов $(Ba_{_{3,92}}Sr_{_{0,15}}Ca_{_{0,01}})_{_{\Sigma4,08}}Ti_4(Ti_{_{1,48}}Nb_{_{1,76}}Fe^{^3+}_{_{0,53}}W_{_{0,09}}A_{_{0,06}})_{_{\Sigma3,92}}(Si_4O_{_{12}})O_{_{14,62}}Cl_{_{0,9}}(O,OH).$ По составу баотит из Вишнёвых гор близок минералу из месторождения Сибирка (Еськова и др., 1982), в котором определено немного больше ТіО, (36.7 мас. %) и ВаО (39.1 мас. %). КР спектры баотита и синхизита-(Се) из Вишнёвых гор сопоставимы с таковыми из базы RRUFF (рис. 3).

В дополнение к ранее известным РЗЭ карбонатам Вишнёвых гор нами обнаружены хуанхэит-(Се), анкилит-(La), бастнезит-(La), гидроксилбастнезит-(La), гидроксилбастнезит-(Се) и паризит-(Се).

Хуанхэит-(Се) $BaCe(CO_3)_2F$ впервые найден в месторождении Баян-Обо (Внутренняя Монголия, Китай) в 1961 г. в виде пластинчатых кристаллов до 10 см (Семёнов и др., 1961). В России минерал известен в карбонатитах Белозиминского месторождения в Восточном Саяне (Капустин, 1971). Нами включение хуанхэита-(Се) рамером 40 мкм обнаружено в синхизите-(Се), образующем внешнюю зону каймы, развитой на бастнезите-(Се) (рис. 2в). Состав хуанхэита-(Се) определен в Институте минералогии и затем– в Брно (Чехия). В первичном анализе немного больше La и Nd и меньше – F (табл. 2, ан. 1), в отличие от новых анализов на волновом микрозонде (табл. 2, ан. 2, 3) после дополировки

МИНЕРАЛОГИЯ 1(5) 2019



Рис. 2. Ассоциация минералов с баотитом и хуанхэитом-(Ce): а – зерно бастнезита-(Ce) (Bs) с каймой синхизита-(Ce) (Syn) в срастании с магнезиоарфведсонитом (Arf) и кварцем (Qz); б – включение баотита (Bat) в бастнезите-(Ce) в ассоциации с рутилом (Rt), паризитом-(Ce) (Par) и пиритом (Py); в – включение хуанхэита-(Ce) (точка «е») в синхизите-(Ce).

BSE-фото: СЭМ РЭММА-202М (а) и Tescan Vega3 (б, в); а-f – участки анализа. Обр. В-56-4, жила № 35.

Fig. 2. Mineral assemblages with baotite and huanghoite-(Ce): a – bastnäsite-(Ce) grain (Bs) with synchysite-(Ce) rim (Syn) intergrowth with magnesioarfvedsonite (Arf) and quartz (Qz); 6 – inclusion of baotite (Bat) in bastnäsite-(Ce) in assemblages with rutile (Rt), parisite-(Ce) (Par), and pyrite (Py); B – inclusion of huanghoite-(Ce) (point «e») in synchysite-(Ce).

BSE-photo: SEM P3MMA-202M (a) and Tescan Vega3 (б, в), a-f-points of analysis. Sample B-56-4, vein no. 35.



Puc. 3. КР спектры баотита и синхизита-(Ce) из Вишнёвых гор и базы RRUFF. *Fig. 3.* Raman spectra of baotite and synchysite-(Ce) of Vishnevye Mountains and RRUFF database.

МИНЕРАЛОГИЯ 1(5) 2019

Таблица 2

Table 2

№ ан.	CaO	SrO	BaO	O La_2O_3 Ce_2O_3		Nd_2O_3 CO_2* H_2		H_2O^*	F	-O=F	Сумма	
1	_	0.73	38.31	11.74	17.01	3.39	19.94	1.75	2.45	0.98	94.34	
2	0.17	1.08	37.29	9.32 27.17		1.87	21.26	0.58	3.34	1.41	100.67	
3	0.19 1.07 39.50 9.07 26.35					0.95	21.20	0.73	3.02	1.27	100.81	
№ ан.	Расчетные формулы на 2 катиона (ан. 1) и на 7 анионов (ан. 2, 3)											
1	$(Ba_{1,10}Sr_{0,03})_{\Sigma_{1,13}}(Ce_{0,46}La_{0,32}Nd_{0,09})_{\Sigma_{0,87}}(CO_{3})_{2}F_{0,57}(OH)_{0,43}$											
2	$(Ba_{101}Sr_{0.04}Ca_{0.01})_{\Sigma106}(Ce_{0.68}La_{0.24}Nd_{0.05})_{\Sigma0.97}(CO_3)_2F_{0.73}(OH)_{0.27}$											
3	$(Ba_{1.07}Sr_{0.04}Ca_{0.01})_{\Sigma1.12}(Ce_{0.67}La_{0.23}Nd_{0.02})_{\Sigma0.92}(CO_3)_2F_{0.66}(OH)_{0.34}$											

Химический состав (мас. %) хуанхэита-(Се) из Вишнёвых гор Chemical composition (wt. %) of huanghoite-(Се) from Vishnevye Mountains

Примечание: CO_2^* и H_2O^* – расчетные; ан. 1 – СЭМ Tescan Vega3, ан. 2, 3 – Camebax SX 100. *Note.* CO_2^* and H_2O^* are calculated. 1 – SEM Tescan Vega3, 2,3 – Camebax SX 100.



Рис. 4. КР спектры хуанхэита-(Се) из Вишнёвых гор и месторождения Баян-Обо.

Fig. 4. Raman spectra of huanghoite-(Ce) of Vishnevye Mountains and Bayan Obo deposit.

образца. Эти различия, возможно, указывают и на некоторую неоднородность зерна. По сравнению с хуанхэитом-(Се) из месторождения Баян-Обо (Семёнов и др., 1961) и Белозиминского месторождения (Капустин, 1971), вишневогорский минерал отличается более чистым составом и содержит больше F, но немного меньше РЗЭ и Sr. КР спектры хуанхэита-(Се) из Вишнёвых гор и месторождения Баян-Обо (Frost et al., 2013) близки (рис. 4). Анкилит-(La) Sr(La,Ce)(CO₃)₂(OH)·H₂O был открыт впервые в Хибинах (Яковенчук и др., 1997), а на Урале отмечены его микровростки в кальците карбонатитов массива Косью (Средний Тиман) (Ковальчук и др., 2013). В его составе установлена существенная примесь Ca, вероятно, из-за захвата кальцита при анализе.

Нами анкилит-(La) упоминался без описания при характеристике минералов группы пирохлора Вишнёвых гор (Попова и др., 2018). Позднее включение анкилита-(La) размером ~10 мкм в сростке с карбоцернаитом обнаружено в кристалле калиевого полевого шпата, содержащем примесь ВаО (0.54 мас. %) из нефелин-полевошпатового пегматита жилы № 5 на горе Каравай (рис. 5а). В полевом шпате также установлены вростки альбита, аннита, стронцийсодержащего фторапатита, барита и стронцианита. Границы этих минералов с калиевым полевым шпатом соответствуют индукционным поверхностям сокристаллизации. В составе анкилита-(La) сумма редких земель (TR) составляет 40.7 мас.% с небольшим преобладанием среди них La (табл. 3, ан.1). В ассоциирующем с ним карбоцернаите сумма TR составляет 29.1 мас. % (табл. 3, ан. 3), а фторапатит содержит примеси SrO (3.44 мас. %) и TR (3.8 мас. %).

Анкилит-(La) выявлен также в биотитовом карбонатите зоны 140 в ассоциации с фторкальциопирохлором, бастнезитом-(La), кальцитом, аннитом, полевыми шпатами, шамозитом, магнетитом и стронцианитом (рис. 5δ). В составе анкилита-(La) фиксируется несколько больше редких земель (45.45 мас.%) и меньше Sr (табл. 3, ан. 2).

Бастнезит-(La) (La,Ce)(CO₃)F образует мелкие вростки в кальците, ассоциациирующим с фторкальциопирохлором, анкилитом-(La) и



Рис. 5. Сросток анкилита-(La) (Acl) с карбоцернаитом (Crn) в полевом шпате (a) и бастнезит-(La) (Bs) в кальцитовом карбонатите зоны 140 (б) и гидроксилбастнезит-(La) (Hbs) из зоны № 37 (в).

Ab – альбит, Fsp – калишпат, Bt – аннит, Cal – кальцит, Pcl – фторкальциопирохлор, Chm – шамозит. Фото а – жила № 5, обр. В-61; фото б – обр. В-39; фото в – обр. В-54-17. Здесь и фото 6–8 – СЭМ Tescan Vega3.

Fig. 5. Intergrowth of ancylite-(La) (Acl) with carbocernaite (Crn) in feldspar (a) and calcite carbonatite of zone 140 with bastnäsite-(La) (Bs) (6) and hydroxylbastnäsite-(La) (Hbs) of zone no. 37 (B).

Photo a – vein no. 5; photo 6 – sample B-39; photo B – sample B-54-17. Ab – albite, Fsp – feldspar, Bt – annite, Cal – calcite, Pcl – fluorcalciopyrochlore, Chm – chamosite. Here and hereafter in Figs. 6-8 – SEM Tescan Vega3.



Рис. 6. Алланит-(Се) с поздними трещинками (а) в полевом шпате (Fsp) и участок прожилка (б) с гидро-ксилбастнезитом-(Се) (Hbs, i) и монацитом-(Се) (Mnz) из жилы № 37-В.

Обр. 17-10 из сборов Б.В. Чеснокова.

Fig. 6. Allanite-(Ce) in feldspar (Fsp) with late fractures (a) and fragment of a veinlet (6) with hydroxylbastnäsite-(Ce) (Hbs, i) and monazite-(Ce) (Mnz) from vein no. 37-B.

Sample 17-10 of B.V. Chesnokov's collection.

другими минералами в биотитовом карбонатите зоны 140 (рис. 56), а также в агрегате шамозита с Fe-Nb-рутилом («ильменорутилом») и ниобоэшинитом в жиле № 37-А. В бастнезите-(La) сумма редких земель 54.24–64.5 мас.% с существенным преобладанием La над каждым из других REE (табл. 3, ан. 4, 4а). Судя по форме зерен, бастнезит-(La) является первичным минералом карбонатитов. Ранее бастнезит-(La) на Урале отмечался как кыштымо-паризит Ф.Н. Короваевым в 1861 г. и как бастнезит В.А. Зильберминцем в 1930 г. в россыпи Мочалина Лога южнее Вишнёвых гор (Кобяшев и др., 1998), а полнее был охарактеризован И.В. Пековым с соавторами (2002).

Гидроксилбастнезит-(La) (La,Ce)(CO₃)(OH) предположен в агрегате шамозита с Fe-Nb-рутилом, заполняющим мелкие полости трещин в ниобо-

эшините в одной из апофиз жилы № 37-А (рис. 56 и табл. 3, ан. 5). Содержание редких земель в гидроксилбастнезите-(La) 49.4 мас.% при соотношении La/Ce = 1.21. Дефицит суммы анализа, а также примесь фтора обусловлены, вероятно, существенной гидратацией минерала, эпигенетически замещавшего бастнезит-(La).

На Южном Урале гидроксилбастнезит-(La) найден в россыпи Мочалина Лога (Пеков и др., 2002), где характеризуется более высокими содержанием редких земель и отношением La/Ce, а также практически отсутствием F.

Гидроксилбастнезит-(Се) (Се,La)(СО₃)(ОН) на Урале также описан в россыпях Мочалина Лога (Пеков и др., 2002). В Вишнёвых горах он найден нами в поздних тонких жилках, рассекающих крупное выделение алланита-(Се) (рис. 6) среди поле-

	$\tilde{\mathbf{x}}$					
зига-(La), гидроксилбастнезита-(Ce) () и паризита-(Ce) ёвых гор	Table tnäsite-(La), hydroxylbastnäsite-(Ce) and parisite-(Ce) of alkali ntains	Эмпирические формулы (расчет на фиксированную сумму катионов металлов)	$\left (Sr_{1.03}Ca_{0.05})_{21.08} (La_{0.39}Ce_{0.33}Nd_{0.11}Pr_{0.07}Th_{0.01})_{20.91} (CO_3)_2 (OH) \cdot H_2 O \right \\$	$\left (Sr_{0.81}Ca_{0.12})_{\Sigma 0.93} (La_{0.54}Ce_{0.53})_{\Sigma 1.07} (CO_3)_2 (OH)_{0.91} F_{0.09} \cdot H_2 O \right \\$	$(Ca_{0.75}Na_{0.26})_{21.01}(Sr_{0.52}Ce_{0.23}La_{0.21}Nd_{0.02}Eu_{0.01})_{20.99}(CO_3)_{20}$	$(La_{0.50}Ce_{0.36}Ca_{0.07}Nd_{0.04}Pr_{0.03})_{\Sigma1.0}(CO_3)F_{0.54}(OH_{0.46})$
бастнези Вишнёв	roxylbas ye Mour	Сумма	100.33	99.10	100.46	92.60
роксил атитов	a), hyd Vishnev	H_2O^*	4.92	7.0	I	3.5
га, гид х пегмо	äsite-(L of the	CO_2^*	24.04	22.8	32.5	18.6
ернаилочны	bastn natites	ц	Ι	0.44	I	4.35
карбоц из ше	cernaite, pegr	Nd_2O_3	5.02	I	1.43	2.97
a-(La),	carboo	Pr_2O_3	3.14	I	I	1.88
анкилит	lite-(La),	Ce ₂ O ₃	15.00	22.60	13.99	24.89
ac. %) :	of ancy	La_2O_3	17.55	22.85	12.91	34.72
TaB (Mi	wt. %)	ThO_2	0.79	I	I	I
ий сос	ition (1	FeO	I	I	I	I
ическ	sodmo	SrO	29.06	21.72	20.09	
Хим	nical c	CaO	0.81	1.69	15.70	1.69
	Chei	M₀ ah.	1	2	ŝ	4

Таблица 3

Note. Analyses 1, 2 – ancylite-(La), 3 – carbocernaite, 4, 4a – bastnäsite-(La), 5 – hydroxylbastnäsite-(La), 6 – hydroxylbastnäsite-(Ce), 7 – parisite-(Ce). The Примечание. Ан. 1, 2 – анкилит-(La), 3 – карбоцернаит, 4, 4а – бастнезит-(La), 5 – гидроксилбастнезит-(La), 6 – гидроксилбастнезит-(Ce), 7 – паризит-(Ce) Содержание СО, и Н,О – расчетные данные. СЭМ Tescan Vega3 contents of CO, and H,O are recalculated. SEM Tescan Vega3.

 $(Ca_{0.97}Sr_{0.04})_{21.01}(Ce_{1.05}La_{0.58}Nd_{0.23}Pr_{0.13}Th_{0.01})_{22.00}(CO_3)_{3}F_{1.49}(OH)_{0.51}$

2H,0

 $(La_{0.39}Ce_{0.36}Ca_{0.16}Nd_{0.04}Fe_{0.03}Th_{0.01})_{\Sigma 0.99}(CO_3)F_{0.75}(OH)_{0.25} \\ (La_{0.41}Ce_{0.34}Ca_{0.19}Nd_{0.03}Fe_{0.02}Th_{0.01})_{\Sigma 1.0}(CO_3)(OH)_{0.53}F_{0.47} \ .$

95.04

20.3

6.52 3.47

26.99 21.44

29.50 25.73 26.29

1.04

1.11 0.56 0.83

4.23

4a 5

1.10

93.07

17.54

17.0 18.9

 $(Ce_{0.47}La_{0.38}Nd_{0.08}Ca_{0.04}Fe_{0.03}Th_{0.01})_{\Sigma1.01}(CO_3)(OH)$

94.38 98.91

7.7 1.75

23.5

4.95

3.25 2.19 5.63 7.94

3.63

33.03 29.10

17.96

L

0.21

0.90 9.87

4.04

I

вошпатового агрегата в жиле № 37-В. Сумма редких земель в нем составляет 64.95 мас. %, F не обнаружен (табл. 3, ан. 6). В этих жилках есть монацит-(Ce), местами образующий совместные параллельно-шестоватые агрегаты с гидроксилбастнезитом-(Ce). По сравнению с минералом из Мочалина Лога с соотношением La/Ce = 1.53, вишневогорский гидроксилбастнезит-(Ce) характеризуется меньшей величиной отношения La/Ce = 1.24.

Паризит-(Се) СаСе₂(СО₃)₃F₂ был ранее предположен на основании ЭД спектра минерала из магнетит-кальцитового карбонатита из карьера г. Долгой (Попов и др., 2017). Позже этот минерал найден нами в «кайме» бастнезита-(Се) (рис. 26) в образце А.М. Кузнецова из жилы № 35 на г. Долгой. Содержание редких земель в паризите-(Се) составляет 58.63 мас.% (табл. 3, ан. 7). В другом образце из жилы № 35А паризит-(Се) выявлен среди алланита-(Се) и немного отличается повышенными содержаниями F, La и Се, но меньшим – Nd.

Монацит-(La) (La,Ce)PO₄ описан как самостоятельный минеральный вид А.А. Левинсоном в 1966 г. при ревизии находок монацита из гранитов Коунрадского массива в Центральном Казахстане И.Б. Боровского и В.И. Герасимовского в 1945 г. (Pekov, 1998). В России он известен в Ловозерском массиве и на Витимском плато. На Южном Урале монацит-(La) найден во флогопит-амфиболовых пегматитах копи 13 Ильменских гор, но лишь с небольшим преобладанием La над Ce (Попов, 2004), как и встреченный в Вишнёвых горах в карьере на западном склоне г. Кобелихи в содалит-канкринитовой жиле (Нишанбаев и др., 2016). По сообщению А.В. Касаткина, в 2017–2018 гг. монацит-(La) был встречен им в жилах № 145 и 137.

Нами монацит-(La) обнаружен в меланократовом полевошпат-флогопитовом сиените с кальцитом, титанитом, фторапатитом, алланитом-(Се), бастнезитом-(Се), синхизитом-(Се), цирконом, пирохлором, торитом, торианитом, ильменитом, рутилом и пиритом (рис. 7а) при исследовании керна скважины 1295, пробуренной по зоне 140 (сборы Т.П. Нишанбаева, 1986 г.). Монацит-(La) образует наросты толщиной до 10 мкм в трещинах фтор-апатита и частично заполняет микрополости в калиевом полевом шпате и флогопите (рис. 7б), что указывает на его более позднюю кристаллизацию. Состав монацита-(La) (мас. %): La₂O₂ 34.76, Се₂O₃ 32.09, Nd₂O₃ 2.99, CaO 0.54, P₂O₅ 30.31, сумма 100.69. Эмпирическая формула, рассчитанная на два катиона, $(La_{0.49}Ce_{0.45}Nd_{0.04}Ca_{0.02})_{\Sigma 1.01}(PO_{4.02}).$

9



Рис. 7. Полевошпат-флогопитовый сиенит (а) с прожилками монацита-(La) (Mnz) (б) по границе силикатов с фторапатитом (Ap) в агрегате с флогопитом (Bt), альбитом (Ab) и калиевым полевым шпатом (Fsp) и монацит-(La) среди натролита (Ntr) с мусковитом (Ms) (в) из миаскита карьера на г. Долгой.

m, а – точки анализа монацита-(La). Фото а, б – обр. В-44; фото в – обр. 17-7.

Fig. 7. Feldpsar-phlogopite syenite (a) with veinlets of monazite-(La) (Mnz) (δ) along the boundary of silicates with fluorapatite (Ap) in aggregate with phlogopite (Bt), albite (Ab) and feldspar (Fsp) and monazite-(La) among natrolite (Ntr) with muscovite (Ms) (B) from miaskite of quarry of Mt. Dolgaya.

m, a – points of analysis of monazite-(La). Photo a, δ – sample B-44; photo B – sample 17-7.

Зерно фторапатита содержит небольшие примеси (мас. %) SrO 0.4, Ce₂O₃ 0.8, La₂O₃ 0.7 и Nd₂O₃ 0.35.

Монацит-(La) также найден в мусковит-натролитовом агрегате с фторапатитом, гиббситом, памозитом и лукаситом-(Ce) в миаските карьера г. Долгой (коллекция С.Ю. Крюкова 2017 г.) (рис. 7в). Состав этого монацита, мас. %: La₂O₃ 34.09, Ce₂O₃ 31.91, Nd₂O₃ 2.58, ThO₂ 0.54, P₂O₅ 30.01, сумма 99.03. Эмпирическая формула (La_{0.495}Ce_{0.46}Nd_{0.04}Th_{0.005})_{Σ1.0}(PO₄).

Фергусонит-(Се) [или фергусонит-бета-(Се)] СеNbO₄ на Урале впервые выявлен в тяжелом концентрате из копи № 13 «роговой обманки» Ильменских гор (Макарочкин и др., 1965), а затем в жилах карбонатит-пегматитов копи № 97 (Поляков, Недосекова, 1990). Размер кристаллов фергусонита-(Се) из копи № 97 достигал 7 мм, по данным гониометрии кристаллы имели тетрагональную сингонию, но после прокаливания его рентгенограмма его отвечает моноклинной модификации ($\beta = 94^{\circ} 21'$), и минерал считается фергусонитом-бета-(Се). В Вишнёвых горах фергусонит-(Се) до сих пор не отмечался.

Нами минерал обнаружен в жилке с альбитом и ферсмитом, секущей агрегат титанита с нефелином, полевыми шпатами, эгирином, аннитом, канкринитом, анальцимом, кальцитом и мелкими зернами пирохлора, циркона и торита в миаскитовом пегматите жилы № 2 Курочкина Лога (рис. 8). Зерно фергусонита-(Се) размером ~0.04 мм с зубчато-извилистыми ограничениями непосредственно контактирует с ферсмитом и альбитом. Состав фергусонита-(Се) (мас. %): СаО 0.3, Y₂O₃ 4.65, La₂O₃ 6.32, Ce₂O₃ 24.21, Pr₂O₃ 3.57, Nd₂O₃8.32, Gd₂O₃ 0.76, Dy₂O₃ 0.55, Nb₂O₅ 43.45,

сумма 92.13. Эмпирическая формула в расчете на 2 катиона – $(Ce_{0.46}Nd_{0.16}Y_{0.13}La_{0.12}Pr_{0.07}Ca_{0.02}Gd_{0.01}Dy_{0.01})_{0.98}$ Nb_{1.02}O_{4.02}. По сравнению с фергусонитом-бета-(Ce) из Ильменских гор вишневогорской минерал характеризуется несколько повышенными содержаниями редких земель (43.7 мас. %), Nb и Y и отсутствием Th, Ti и Fe. По дефициту суммы анализа можно предполагать его частичную гидратацию. Не исключено, что новые находки минерала позволят уточнить его симметрию.

Лукасит-(Се) Се Ti_2O_5 (ОН) впервые установлен в лампроитовых туфах Западной Австралии в 1987 г. с содержанием в его составе суммы редких земель 49.51 и TiO₂ 47.93 мас. % и примесей Са, Si, Al, Mg (Nickel et al., 1987; *цит.* по: Семёнов, 2001). В России он известен в юго-восточной части Хибин на г. Коашва в высокощелочных ультра-агпаитовых пегматитах (Пеков, Николаев, 2013) в виде тонколучистых агрегатов и сферолитов до 0.2–1.5 мм в ассоциации с пирофанитом, натролитом и другими минералами. Лукасит-(Се) с Коашвы моноклинной сингонии (по рентгенограмме порошка) и содержит 32.55 мас. % редких земель и примеси Са, Mn, Fe, Nb и Th.

Нами минерал обнаружен в виде тонкопластинчатых лучистых коричневатых сростков размером до 60 мкм (рис. 9) среди агрегата белого натролита, шамозита и светло-фиолетового мусковита с редким магнетитом, гематитом и гиббситом из приконтактовой части пегматитовой жилы в карьере на горе Долгой (коллекция С.Ю. Крюкова). Дефицит суммы в анализах, вероятно, обусловлен пористостью лучистых агрегатов минерала, но по стехиометрии и составу примесей этот минерал отвечает лукаситу-(Се) (табл. 4). По сравнению с хибинским минералом, лукасит-(Се) из Вишнёвых гор характеризуется меньшим содержанием Ті и более высоким – Nb и La, а также примесью Y при близкой сумме редких земель (31.2–32.4 мас.%). Два анализа лукасита-(Се), полученные на микрозонде Сатеbах SX 100, относительно близки между собой, но отличаются более высоким содержанием Nb₂O₅, ThO₂ и Fe₂O₃ при несколько меньшем содержании редких земель (табл. 4, ан. 2).

Арсенопирит FeAsS обнаружен в виде вростков до 30 мкм в анните в ассоциации с полевыми шпатами, нефелином, канкринитом, цирконом, пирохлором, апатитом-(CaF), ильменитом, фторкальциопирохлором, мусковитом, пирротином, пиритом и более поздними натролитом и хошелагаитом в миаскитовом пегматите на горизонте 372 м в северо-западной части карьера «На-



Рис. 8. Миаскитовый пегматит жилы № 2 Курочкина Лога (а) и фергусонит-(Ce) (Fgs) в парагенезисе с ферсмитом (Fm), альбитом (Ab) и титанитом (Ttn) (б). Обр. В-45.

Fig. 8. Miaskite pegmatite of vein no. 2 of Kurochkin Log occurrence (a) and fergusonite-(Ce) (Fgs) in assemblage with fersmite (Fm), albite (Ab) and titanite (Ttn) (б). Sample B-45.



Рис. 9. Образец из приконтактовой части жилы из карьера на г. Долгой (а) с лукаситом-(Се) (Luc) в агрегате натролита (Ntr), шамозита (Chm) и мусковита (Мs) (б, в).

l, m, n – точки анализа. Обр. 17-7 (коллекция С.Ю. Крюкова).

Fig. 9. Sample of near contact part of vein from quarry of Mt. Dolgaya (a) with lucasite-(Ce) (Luc) in aggregate of natrolite (Ntr), chamosite (Chm) and muscovite (Ms) (6, в).

l, m, n – points of analysis. Sample 17-7 (S.Yu. Kryukov's collection).

Химический состав (мас. %) лукасита-(Се) из Вишнёвых гор Table 4

Chemical composition (wt. %) of the lucasite-(Ce) from Vishnevye Mountains

Ан.	CaO	BaO	PbO	FeO	ThO ₂	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Y_2O_3	TiO ₂	Nb ₂ O ₅	H_2O^*	Сумма
11	3.75	_	_	2.59	0.59	17.16	10.53	_	3.57	2.41	35.63	10.94	3.05	90.22
1 m	2.08	_	_	1.23	_	18.21	9.11	_	5.06	4.42	38.63	7.11	2.65	88.50
1 n	3.76	_	_	1.66	_	16.52	11.17	_	3.48	2.13	36.53	8.28	1.99	85.52
2	4.34	0.28	0.76	3.38*	1.36	14.57	6.70	1.22	3.12	2.08	35.88	19.85	2.92	99.96
	Эмпирические формулы (расчёт на 3 катиона)													
11	$11 (Ce_{0.37}Ca_{0.24}La_{0.23}Nd_{0.08}Y_{0.08}Th_{0.01})_{\Sigma 1.01}(Ti_{1.58}Nb_{0.29}Fe_{0.13})_{\Sigma 2.00}O_{5.40}(OH)_{0.60};$													
1														

$$Im \quad (Ce_{0.40}Ca_{0.13}La_{0.20}Nd_{0.11}Y_{0.14})_{\Sigma 0.98}(I1_{1.75}Nb_{0.19}Fe_{0.06})_{\Sigma 2.00}O_{5.47}(OH)_{0.53};$$

 $1n \quad (Ce_{0.37}Ca_{0.25}La_{0.25}Nd_{0.07}Y_{0.07})_{\Sigma 1.01}(Ti_{1.68}Nb_{0.23}Fe_{0.08})_{\Sigma 2.00}O_{5.40}(OH)_{0.60};$

 $2 \quad (Ce_{0.27}La_{0.13}Ca_{0.24}Fe_{0.14}Y_{0.06}Nd_{0.06}Pr_{0.02}Gd_{0.01}Er_{0.01}Pb_{0.01}Th_{0.02}Ba_{0.01})_{\Sigma 0.98}(Ti_{1.38}Nb_{0.46}Si_{0.14})_{\Sigma 1.98}O_5(OH)$

Примечание. Ан. 1*I-n* – Tescan Vega3, ан. 2 – Camebax SX-100. В ан. 2 – Fe_2O_3 .

Note. Analyses 11-n - Tescan Vega3, Tescan Vega3, analysis 2 - Camebax SX-100. In analysis 2 - Fe₂O₃.

Таблица 4



Рис. 10. Вростки арсенопирита (Ару) в анните (Ann) (а) и магнетите (б). a – обр. В-48 (BSE-фото); б – обр. В-46 (ЭДС). *Fig.* 10. Inclusions of arsenopyrite (Apy) in annite (Ann) (a) and magnetite (б). a – sample B-48 (BSE-photo); б – sample B-46 (EDS).



Рис. 11. Пирротин (Ро), частично замещенный пиритом (Ру) и лимонитом (Lm), с прожилками пирита и сидерита (Sd) (a) и включения гессита (Hs) в пирротине (б).

Fig. 11. Pyrrhotite (Po) partly replaced by pyrite (Py) and limonite (Lm) with pyrite and siderite (Sd) veinlets (a) and inclusions of hessite (Hs) in pyrrhotite (6).

дежда», г. Долгая (рис. 10а). Состав минерала (мас. %): Fe 33.71, As 46.44, S 19.59, сумма 99.74; эмпирическая формула – Fe_{0.98}As_{1.01}S_{0.99}. Арсенопирит также встречен в виде мелкого удлиненнотаблитчатого включения размером ~4 мкм в магнетите из миаскитового пегматита жилы № 5 на г. Каравай. Минерал диагностирован по ЭД спектру и характеризуется заметной примесью Ni и и малой – Sb (рис. 10б).

Гессит Ад₂Те впервые был найден в России Густавом Розе в 1829 г. как «теллуристое серебро» на Рудном Алтае (ныне – Восточный Казахстан). В 1843 г. Ю. Фрёбель назвал минерал гесситом. На Урале минерал установлен в сульфидно-кварцевых жилах Благодатных рудников С.С. Боришанской в 1941 г. (Боришанская, Штейнберг, 1941), а затем во многих колчеданных объектах (Минералы, 1960). В Вишнёвых горах гессит ранее упоминался нами на основании ЭД спектра (Попова и др., 2018). В сульфидсодержащих карбонатитах и карбонатитпегматитах карьера на г. Долгой обнаружены мелкие зерна гессита, тесно ассоциирующие с пирротином и халькопиритом (рис. 11). Состав минерала (мас. %): Ag 62.85, Te 37.76, сумма 100.61; эмпирическая формула – Ag_{1.99}Te_{1.00}. Судя по расположению зерен гессита и его индукционным границам с кальцитом, он является первичным минералом карбонатитов.

Обсуждение и выводы

Приведенные данные дополняют список минералов Вишневых гор до 234 видов. Два минерала – иттриалит-(Y) и хуанхэит-(Ce) – установлены на Урале впервые. Ассоциации редкоземельных и других редкометалльных минералов в пегматитовых жилах полнее характеризуют Вишневогорский щелочно-карбонатитовый комплекс. По локализации в жилах и взаимоотношениям с преобладающими минералами прослеживается последовательная смена минеральных парагенезисов. Так, иттриалит-(Y) в относительно ранней ассоциации с торитом и ксенотимом-(Y) найден в цирконе миаскитового пегматита жилы № 5. Хуанхэит-(Се) и баотит выявлены в арфведсонит-полевошпатовых жилах с бастнезитом-(Се), паризитом-(Се) и синхизитом-(Се), секущих нефелин-полевошпатовые (миаскитовые) и эгирин-полевошпатовые (сиенитовые) пегматиты в карьере жилы № 35. В жилах карбонатитов обнаружены фергусонит-(Се), бастнезит-(La) и анкилит-(La), а в наиболее поздних жилках – монацит-(La), карбоцернаит, гидроксилбастнезит-(Се), гидроксилбастнезит-(La) и лукасит-(Се). Из химических элементов, ранее не отмечавшихся в минералах Вишнёвых гор, встречены Sb и Ni (в арсенопирите), Ag и Te (гессит Ag₂Te).

Выявлению редких минералов в Вишнёвых горах способствовали целенаправленные исследования этого уникального щелочного комплекса, запасы полезных ископаемых которого еще не исчерпаны. Ныне здесь добывается нефелин-полевошпатовый концентрат для стекольной промышленности, но в недрах остались неотработанные запасы ниобиевых руд, циркона и редких земель. Есть участки карбонатитов, в которых кальцит содержит многочисленные мелкие включения редкоземельных карбонатов, фторкарбонатов и гидрокарбонатов. Возможно, эти тела в будущем могут быть также востребованы для отработки.

Авторы благодарны А.М. Кузнецову и С.Ю. Крюкову за предоставленные образцы для исследований, а также И.В. Пекову за конструктивные замечания и информацию о лукасите из Хибин. Исследования выполнены в рамках госбюджетной темы АААА-А17-1/7020250032-1.

Литература

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

Боришанская С.С., Штейнберг Д.С. (1941) Гессит / Минералогия Урала. Том 2. М., АН СССР, с. 348.

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

Еськова Е.М., Лебедева С.И., Дубакина Л.С. (1982) Новые данные об уральском баотите. *Новые данные о минералах*. Вып. **30**, 106–112.

Ефимов А.Ф., Еськова Е.М. (1973) Минералогия щелочных метасоматитов западного склона Урала / Новые данные по геологии, минералогии и геохимии щелочных пород. М., Наука, 90–127.

Капустин Ю.Л. (1971) Минералогия карбонатитов. М., Наука, 288 с. Кобяшев Ю.С., Макагонов Е.П., Никандров С.Н. (1998) Минералы Вишнёвых и Потаниных гор. Миасс, Ильменский заповедник, 77 с.

Кобяшев Ю.С., Никандров С.Н. (2007) Минералы Урала (минеральные виды и разновидности). Екатеринбург, «Квадрат», 312 с.

Ковальчук Н.С., Шумилова Т.Г., Степаненко В.И. (2013) Редкоземельная минерализация в карбонатитах Косьюского массива (Средний Тиман). Записки РМО, 142(3), 109–132.

Макарочкин Б.А., Минеев Д.А., Александров В.Б. (1965) О цериевой разновидности фергусонита. *Новые данные о минералах СССР*. Вып. 16, 252–258.

Минералы. Справочник. Том 1 (1960). М., АН СССР, 616 с.

Минералы. Справочник. Том **3**. Вып. 1 (1972). М., Наука, 883 с.

Нишанбаев Т.П., Рассомахин М.А., Блинов И.А., Попова В.И. (2016) Минералы содалит-канкринитового пегматита в Вишневогорском миаскитовом массиве (Южный Урал). *Минералогия*, **2**(3), 40–52.

Пеков И.В., Алимова А.Н., Кононкова Н.Н., Канонеров А.А. (2002) К минералогии Мочалина Лога на Южном Урале. 1. Минералы семейства бастнезита: история и новые данные. *Уральский геологический жур*нал, (4), 127–144.

Пеков И.В., Николаев А.П. (2013) Минералы щелочных пегматитов и гидротермалитов месторождения Коашва (Хибины, Кольский полуостров). *Минералогический Альманах*, **18**(2), 6–65.

Пеков И.В., Чуканов Н.В., Турчкова А.Г. (2000) Новое в минералогии Хибинского массива. *Матер. Междунар. симпозиума «Минералогические музеи в XXI* веке». СПб., 80–82.

Поляков В.О., Недосекова И.Л. (1990) Минералогия апогипербазитовых фенитов и карбонатитов южной части Ильменских гор / Минералы месторождений и зон техногенеза рудных районов Урала. Свердловск, УрО РАН СССР, 6–17.

Попов В.А. (2004) О происхождении флогопитамфиболовых пегматитов копи № 13 Ильменских гор. *Уральский геологический журнал*, (2), 79–92.

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.

Попова В.И., Попов В.А., Блинов И.А., Котляров В.А. (2018) Новые данные о пирохлорах щелочных пегматитов и рудных зон Вишнёвых гор (Южный Урал). *Минералогия*, **4**(3), 46–60.

Семёнов Е.И. (2001) Оруденение и минерализация редких земель, тория и урана (лантанидов и актинидов). М., ГЕОС, 307 с.

Семёнов Е.И., Хун Вен-Син, Капитонова Т.А. (1961) О новом ниобиевом минерале баотите. Докл. АН СССР, **136**(4), 915–916.

Яковенчук В.Н, Меньшиков Ю.П., Пахомовский Я.А., Иванюк Г.Ю. (1997) Анкилит-(La) SrLa(CO₃)₂(OH)

МИНЕРАЛОГИЯ 1(5) 2019

· H_2O – новый карбонат из гидротермальной жилы г. Кукисвумчорр (Хибинский массив) и его соотношение с анкилитом-(Ce). Записки ВМО, **126**(1), 96–108.

Frost R.L., Lopes A., Scholz R., Xi Yu., Belotti F.M. (2013) Infrared and Raman spectroscopic characterization of the carbonate mineral huanghoite – And in comparison with selected rare earth carbonates. *Journal of Molecular Structure*, (1051), 221–225.

Pekov I.V. (1998) Minerals first discovered on the Territory of the formed Soviet Union. Moscow, Ocean Pictures Ltd., 369 p.

References

Bonstedt-Kupletskaya E.M. (1951) [Mineralogy of alkali pegmatites of the Vishnevye Mountains]. Moskva, AN SSSR, 176 p. (in Russian)

Borishanskaya S.S., Shteynberg D.S. (1941) [Hessite]. In: *Mineralogiya Urala [Mineralogy of the Urals]*. **2**, Moskva, 348 p. (in Russian)

Es'kova E.M., Lebedeva S.I., Dubakina L.S. (1982) [New data on the Urals baotite]. *Novye dannye o mineralakh* [*New data on minerals*]. Is. **30**, 106–112. (in Russian)

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

Efimov A.F., Es'kova E.M. (1973) [Mineralogy of alkaline metasomatites of West Urals]. In: *Novye dannye po geologii, mineralogii i geokhimii shchelochnykh porod* [New data on geology, mineralogy and geochemistry of alkaline rocks]. Moskva, Nauka, 90–127 (in Russian)

Frost R.L., Lopes A., Scholz R., Xi Yu., Belotti F.M. (2013) Infrared and Raman spectroscopic characterization of the carbonate mineral huanghoite – And in comparison with selected rare earth carbonates. *Journal of Molecular Structure*, (1051), 221–225.

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

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

Kobyashev Yu.S., Nikandrov S.N. (2007) [Minerals of the Urals: mineral species and varieties]. Yekaterinburg, Kvadrat, 312 p. (in Russian)

Koval'chuk N.S., Shumilova T.G., Stepanenko V.I. (2013) [Rare earth mineralization of carbonatites of the Kos'yu massif (Central Timan)]. *Zapiski RMO [Proceedings of Russian Mineralogical Society]*, **142**(3), 109–132. (in Russian)

Makarochkin B.A., Mineev D.A., Aleksandrov V.B. (1965) [About Ce variety of fergusonite]. *Novye dannye o mineralakh SSSR [New data on minerals of the USSR]*. Is. 16, 252–258. (in Russian)

Minerals. Handbook. Vol. 1 (1960). Moskva, AN SSSR, 616 c. (in Russian)

Minerals. Handbook. Vol. 3, Issue 1 (1972). Moskva, Nauka, 883 c. (in Russian)

Nishanbaev T.P., Passomakhin V.A., Blinov I.A., Popova V.I. (2016) [Minerals of sodalite-cancrinite pegmatites from the Vishnevogorsky miaskite complex (South Urals)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **2**(3), 40–52. (in Russian)

Pekov I.V. (1998) Minerals first discovered on the Territory of the formed Soviet Union. Moscow, Ocean Pictures Ltd., 369 p.

Pekov I.V., Alimova A.N., Kononkova N.N., Kanonerov A.A. (2002) [Mineralogy of Mochalin Log in the Southern Urals. 1. Minerals of bastnäsite group: the history and new data]. *Uralskiy geologicheskiy zhurnal [Urals geological journal]*, (4), 127–144. (in Russian)

Pekov I.V., Chukanov N.V., Turchkova A.G. (2000) [New in mineralogy of the Khibiny complex]. Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Mineralogicheskie muzei v 21 veke»[*International Symposium «Mineralogical Museums in the 21st Century»*]. St.-Petersburg, 80–82. (in Russian)

Pekov I.V., Nikolaev A.P. (2013) [Minerals of alkali pegmatites and hydrothermalites of the Koashva mine (Khibiny, the Kola Peninsula)]. *Mineralogogicheskiy almanakh* [*Mineralogical almanac*], **18**(2), 6–65. (in Russian)

Polyakov V.O., Nedosekova I.L. (1990) [Mineralogy of metaultramafic fenite and carbonatite of the southern part of the Ilmeny Mountains]. In: *Mineraly mestorozhdeniy i zon tekhnogeneza rudnykh rayonov Urala [Minerals of mines and technogenic zones of the Urals ore regions]*. Sverdlovsk, UrO RAN, 6–17. (in Russian)

Popov V.A. (2004) [About origin of phlogopite-amphibole pegmatite of mine no. 13 of the Ilmeny Mountains]. *Uralskiy geologicheskiy zhurnal [Urals geological journal]*, (2), 79–92.

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

Popova V.I., Popov V.A., Blinov I.A., Kotlyarov V.A. (2018) [New data on pyrochlore of alkali pegmatites and ore zones of the Vishnevye Mountains (Southern Urals)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **4**(3), 46–60. (in Russian)

Semenov E.I. (2001) [Ores and minerals of rare earth elements, thorium and uranium (lanthanides and actinides)]. Moskva, GEOS, 307 p. (in Russian)

Semenov E.I., Khun Ven-Sin, Kapitonova T.A. (1961) [About baotite, new niobium mineral]. *Doklady Academii Nauk SSSR [Doklady Academy of Sciences USSR]*, **136**(4), 915–916. (in Russian)

Yakovenchuk V.N., Men'shikov Yu.P., Pakhomovskiy Ya.A., Ivanyuk G,Yu. (1997) [Ancylite-(La), SrLa(CO_3)₂(OH)·H₂O, a new carbonate from hydrothermal vein at the Kukisvumchorr Mountain (Khibiny massif) and its relation to ancylite-(Ce)]. *Zapiski VMO [Proceedings of All-Russian Mineralogical Society]*, **126**(1), 96–108. (in Russian)

Поступила в редакцию 12 февраля 2019 г.