

РЕНТГЕНИТ-(СЕ) И ДРУГИЕ ФТОРКАРБОНАТЫ РЗЭ ИЗ ЖИЛЫ № 35, ВИШНЁВЫЕ ГОРЫ, ЮЖНЫЙ УРАЛ

А.В. Касаткин¹, Р. Шкода², Ф. Нестола³, А.М. Кузнецов⁴, Е.В. Белогуб⁵, А.А. Агаханов¹

¹Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Ленинский пр. 18/2, г. Москва, 119071 Россия; anatoly.kasatkin@gmail.com

²Масариков университет, Котлариска 2, г. Брно, 61137 Чехия

³Университет Падуи, Виа Г. Градениго 6, г. Падуя, 35131 Италия

⁴ул. Октябрьская, 5-337, г. Челябинск, 454071 Россия

⁵Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия

RÖENTGENITE-(Ce) AND OTHER REE FLUORCARBONATES FROM VEIN no. 35, VISHNEVYE MOUNTAINS, SOUTHERN URALS

A.V. Kasatkin¹, R. Škoda², F. Nestola³, A.M. Kuznetsov⁴, E.V. Belogub⁵, A.A. Agakhanov¹

¹Fersman Mineralogical Museum of RAS, Leninskiy pr. 18/2, Moscow, 119071 Russia; anatoly.kasatkin@gmail.com

²Masaryk University, Kotlářská 2, Brno, 61137 Czech Republic

³University of Padova, Via G. Gradenigo 6, Padova, 35131 Italy

⁴Oktyabrskaya str., 5-337, Chelyabinsk, 454071 Russia

⁵Institute of Mineralogy SU FRC MG UB RAS, Miass, Chelyabinsk oblast, 456317 Russia

В образцах из отвалов карьера жилы № 35 горы Долгая, Вишнёвые горы, Южный Урал выявлена минеральная ассоциация, состоящая из фторкарбонатов РЗЭ – рентгениита-(Ce) $\text{Ca}_2\text{Ce}_3(\text{CO}_3)_5\text{F}_3$, паризита-(Ce) $\text{CaCe}_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$, синхизита-(Ce) $\text{CaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$ и бастнезита-(Ce) $\text{Ce}(\text{CO}_3)\text{F}$. Указанные минералы синтаксически срastaются между собой, образуя агрегаты до 1 мм в алланите-(Ce)/ферриалланите-(Ce) и шамозите, и ассоциируют с микроклином, молибденитом, монацитом-(Ce), пиритом, торитом, флюоритом и фтораннитом. Рентгениит-(Ce) найден впервые на Урале. Эмпирическая формула минерала: $(\text{Ca}_{1.98}\text{Th}_{0.03})_{\Sigma 2.01}(\text{Ce}_{1.45}\text{La}_{1.02}\text{Nd}_{0.32}\text{Pr}_{0.11}\text{Sm}_{0.03}\text{Y}_{0.02}\text{Gd}_{0.02})_{\Sigma 2.97}(\text{CO}_3)_5[\text{F}_{2.48}(\text{OH})_{0.52}]_{\Sigma 3.00}$. Рассчитанные по порошковой рентгенограмме параметры гексагональной элементарной ячейки минерала: $a = 7.049(1) \text{ \AA}$, $c = 69.283(30) \text{ \AA}$, $V = 2981(1) \text{ \AA}^3$. Сильные полосы спектра КР: 164, 250, 349, 606, 731, 867, 1091, 1451 и 1737 cm^{-1} .

Илл. 7. Табл. 3. Библ. 41.

Ключевые слова: жила № 35, Вишнёвые горы, фторкарбонаты РЗЭ, рентгениит-(Ce), первая находка на Урале, паризит-(Ce), синхизит-(Ce), бастнезит-(Ce).

A mineral assemblage including REE fluorcarbonates (röntgenite-(Ce) $\text{Ca}_2\text{Ce}_3(\text{CO}_3)_5\text{F}_3$, parisite-(Ce) $\text{CaCe}_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$, synchisite-(Ce) $\text{CaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$ and bastnäsite-(Ce) $\text{Ce}(\text{CO}_3)\text{F}$) was discovered at the dumps of the Vein № 35 open pit, Mt. Dolgaya, Vishnevye Mountains, Southern Urals. These intimately intergrown minerals compose aggregates up to 1 mm in allanite-(Ce)/ferriallanite-(Ce) and chamosite and are associated with microcline, molybdenite, monazite-(Ce), pyrite, thorite, fluorite and fluorannite. The find of röntgenite-(Ce) is first in Urals. Its empirical formula is: $(\text{Ca}_{1.98}\text{Th}_{0.03})_{\Sigma 2.01}(\text{Ce}_{1.45}\text{La}_{1.02}\text{Nd}_{0.32}\text{Pr}_{0.11}\text{Sm}_{0.03}\text{Y}_{0.02}\text{Gd}_{0.02})_{\Sigma 2.97}(\text{CO}_3)_5[\text{F}_{2.48}(\text{OH})_{0.52}]_{\Sigma 3.00}$. The hexagonal unit cell dimensions of the mineral calculated from X-ray powder data are: $a = 7.049(1) \text{ \AA}$, $c = 69.283(30) \text{ \AA}$,

$V = 2981(1) \text{ \AA}^3$. The strongest bands in the Raman spectrum of the mineral are 164, 250, 349, 606, 731, 867, 1091, 1451 and 1737 cm^{-1} .

Figures 7. Tables 3. References 41.

Key words: vein no. 35, Vishnevye Mountains, REE fluorcarbonates, röntgenite-(Ce), first find in Urals, parisite-(Ce), synchisite-(Ce), bastnäsite-(Ce).

Введение

Собственные минералы редких земель, такие как монацит, ксенотим, ортит и бастнезит, в Вишнёвых горах были известны с начала систематического изучения этого объекта (Бонштедт-Куплетская, 1951; Халезова, Назаренко, 1959; Еськова и др., 1964). Позднее список карбонатов и фторкарбонатов РЗЭ Вишнёвых гор пополнился анкилитом-(Ce), бурбанкитом (Никандров, 1988), синхизитом-(Ce) (Пеков и др., 1996), анкилитом-(La), бастнезитом-(La), гидроксилбастнезитом-(Ce), гидроксилбастнезитом-(La), паризитом-(Ce) и хуанхэитом-(Ce) (Попова и др., 2019).

В рамках систематического инструментального изучения ортита из различных месторождений Южного Урала, проводившегося нами летом 2018 г., А.М. Кузнецов передал фрагменты образца, найденного им в июле 2016 г. в отвалах карьера жилы № 35 (г. Долгая, Вишнёвые горы). Наличие алланита в этих фрагментах было ранее установлено рентгенографическим методом (аналитик П.В. Хворов, Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН), однако обращал на себя внимание довольно необычный цвет минерала: вместо привычного для 35-й жилы черного ортита (алланита), многократно находимого здесь прежде, переданные обломки кристалла имели отчетливый коричневатый оттенок. По словам А.М. Кузнецова, ни до совершения этой находки, ни после нее подобный материал ему в этом месте не попадался.

Детальное изучение переданных образцов с помощью сканирующей электронной микроскопии, электронно-зондового анализа, монокристалльной и порошковой рентгенографии и КР-спектроскопии выявило, что ортит, отвечающий по своему химическому составу алланиту-(Ce) и ферриалланиту-(Ce), содержит вrostки целого ряда других минералов. Наиболее многочисленными и интересными оказались агрегаты четырех фторкарбонатов РЗЭ – рентгениита-(Ce), паризита-(Ce), синхизита-(Ce) и бастнезита-(Ce). Именно они, по всей видимости, и придали вмещающему алланиту/ферриалланиту необычный коричневатый оттенок.

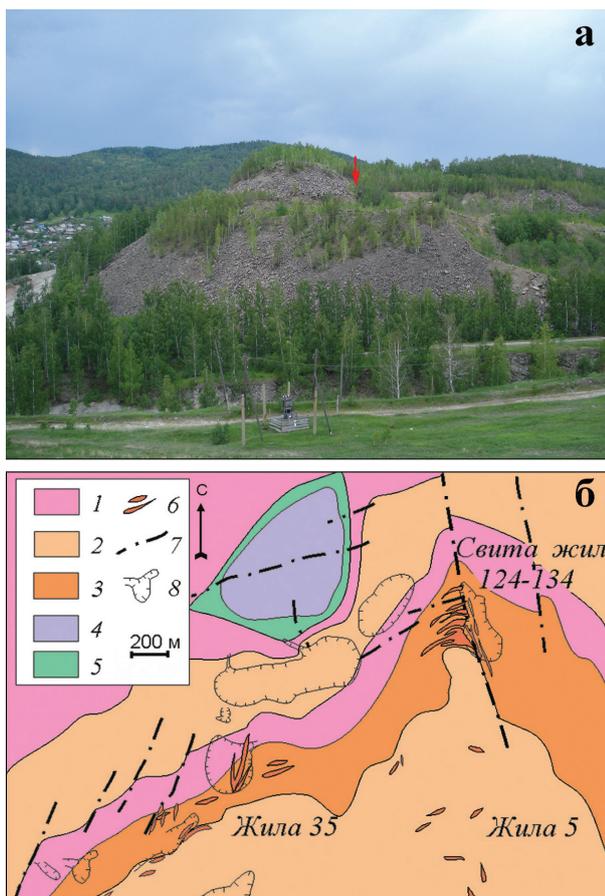
Вышеназванные фторкарбонаты являются смешаннослойными минералами с гексагональной (бастнезит, рентгениит) или моноклинной (паризит, синхизит) симметрией. Они образуют полисоматический ряд, крайними членами которого являются бастнезит-(Ce) и синхизит-(Ce). Промежуточными членами ряда являются паризит-(Ce), чья структура состоит из одного бастнезитового и одного синхизитового блока (BC), и рентгениит-(Ce), структура которого сложена одним бастнезитовым и двумя синхизитовыми блоками (BC2) (Donnay, Donnay, 1953; Van Landuyt, Amelinckx, 1975; Ni et al., 1993; Ciobanu et al., 2017; Schmandt et al., 2017).

В настоящей статье приводятся результаты лабораторных исследований перечисленных минералов (химический состав, параметры элементарных ячеек, спектры КР), подробно описывается минеральная ассоциация, обсуждаются последовательность минералообразования и возможные временные взаимоотношения изученных фторкарбонатов между собой и с другими ассоциирующими минералами, приводится краткий обзор мировых находок рентгениита-(Ce) как самого редкого из фторкарбонатов РЗЭ, и, в связи с этим, оценивается статус открытия данного минерала на Южном Урале.

Краткая геологическая характеристика объекта

Карьер и отвалы жилы № 35 расположены на западном склоне горы Долгая, на западной окраине поселка городского типа Вишневогорск Каслинского района Челябинской области (рис. 1а). Географические координаты карьера $56^{\circ} 0' 5'' \text{ с.ш.}$, $60^{\circ} 37' 48'' \text{ в.д.}$ Серия жил миаскитовых пегматитов, миаскиотов (нефелиновых сиенитов) и сиенитов, объединенных общим названием «жила 35», локализована в полосе пестрых по составу фениitized пород, разделяющих северную часть собственно Вишневогорского миаскитового массива и так называемую Седловидную залежь миаскиотов (рис. 1б) (Еськова и др., 1964; Роненсон, 1966).

Карьер был заложен на жиле нефелин-полевошпатового пегматита с аксессуарным пирокло-



ром и обрабатывался в 50–70-х гг. XX столетия. Кроме основной пегматитовой жилы, также вскрывались несколько тел среднезернистых массивных сиенитов и миаскитов (нефелиновых сиенитов), содержащих пироклор. Длина свиты жил была прослежена до 210 м, протяженность по падению составляет 120–250 м (Исаков, 1952; Климов, Роненсон, 1963). Вмещающие породы представляют собой чередование тонких протяженных, чаще согласных и реже косо-секущих друг друга полос в различной степени фенитизированных амфиболитов, гнейсов и кристаллических сланцев (рис. 1б). В фенитизированных породах широко развиты более крупнокристаллические, иногда друзовые жилы различного состава. Часто минеральный состав этих жил соответствует минеральному составу вмещающих их пород (Попов и др., 1986), что дало основания относить их к жилам альпийского типа, а их образование связывать с жильной фацией, сопровождавшей процесс фенитизации (Чесноков, 1963). Именно в таких жилах в ассоциации с эгирин-авгитом, микроклином, иногда – сульфидами встречались крупные сантиметровые призматические кристаллы коллекционного черного ортита.

Рис. 1. Место отбора образца ортита с РЗЭ-фторкарбонатами в отвале (а) и схематическая геологическая карта участка жилы № 35 (б).

а – вид с г. Каравай на отвалы жилы № 35: место отбора образца отмечено стрелкой, июль 2016 г., фото А.М. Кузнецова; б – геологическая схема северной части Вишневогорского миаскитового массива (по Б.М. Роненсону, 1966; с дополнениями Е.П. Макагонова и В.А. Муфтахова, 2016): 1 – метаморфические породы (гнейсы, амфиболиты, кристаллосланцы); 2 – миаскиты; 3 – фениты; 4 – габбро; 5 – серпентиниты; 6 – пегматиты миаскитовые и сиенитовые; 7 – нарушения; 8 – контуры карьеров.

Fig. 1. Sampling place of orthite with REE fluorcarbonates in dumps (a) and schematic geological map of an area of vein no. 35 (b).

а – view from Mt. Karavay on dumps of vein no. 35: an arrow indicates the sampling place, July 2016, photo by A.M. Kuznetsov; б – geological scheme of the northern part of the Vishnevogorsky miaskite block (modified after B.M. Ronenson, 1966; E.P. Makagonov and V.A. Muftakhov, 2016): 1 – metamorphic rocks (gneisses, amphibolites, crystalline schists); 2 – miaskites; 3 – fenites; 4 – gabbros; 5 – serpentinites; 6 – miaskitic pegmatites and syenites; 7 – faults; 8 – contours of quarries.

В карьере также были отмечены амфиболиты, значительно (до 10 об. %) обогащенные ортитом (Попов и др., 1986).

Пироклорсодержащие жилы до конца не отработаны, но в настоящее время карьер рекультивирован. Образец с ортитом, в котором были диагностированы фторкарбонаты РЗЭ, был отобран А.М. Кузнецовым из отвалов (рис. 1а). Бастнезит впервые для Вишнёвых гор был описан в кварцевых прожилках в фенитах жилы № 35 (Халезова, Назаренко, 1959) и впоследствии неоднократно фиксировался в поздних минеральных ассоциациях в различных породах этого участка (Еськова и др., 1964; Попов и др., 2017; Попов, 2019).

Методы исследования

Микроморфология и химический состав минералов изучались методами сканирующей электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа с применением как энергодисперсионного, так и волново-дисперсионного спектрометров. Предварительный полуколичественный анализ химического состава минералов вы-

полнен в лаборатории Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва) на сканирующем электронном микроскопе CamScan 4D с использованием энергодисперсионного спектрометра и микроанализатора INCA Energy (условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 5 нА на металлическом кобальте, диаметр зонда 5 мкм).

Дальнейшее изучение химического состава минералов проводилось в лаборатории электронной микроскопии и микроанализа Департамента геологических наук Масарикова университета (г. Брно, Чехия) с помощью волнового электронно-зондового микроанализатора Cameca SX 100 при ускоряющем напряжении 15 кВ, токе зонда 10 нА, диаметре зонда 10 мкм и времени накопления импульсов на пике 10 с для основных элементов и 20–120 с для второстепенных. В качестве стандартов использовались: FK_{α} – топаз; MgK_{α} – Mg_2SiO_4 ; AlK_{α} , SiK_{α} – андалузит; CaK_{α} – волластонит; TiK_{α} – анатаз Хардангервида; MnK_{α} – спессартин; FeK_{α} – алмадин; YL_{α} – YAG; LaL_{α} – $LaPO_4$; CeL_{α} – $CePO_4$; PrL_{β} – $PrPO_4$; NdL_{β} – $NdPO_4$; SmL_{β} – $SmPO_4$; GdL_{β} – $GdPO_4$; ThM_{α} – $CaTh(PO_4)_2$. К измеренным интенсивностям применена X-PHI коррекция матрицы (Merlet, 1994).

Рентгенодифракционные данные получены в лаборатории Департамента наук о земле Университета г. Падуа (Италия) на монокристалльном дифрактометре Agilent SuperNova с детектором Pilatus 200K Dectris, на MoK_{α} – излучении при ускоряющем напряжении 50 кВ и токе 0.8 мА. Расстояние образец-детектор составляло 68 мм, время экспозиции – 60 мин.

Спектры комбинационного рассеяния света (КР) для фторкарбонатов РЗЭ получены в лаборатории Рамановской спектроскопии Масарикова университета. Регистрация КР-спектров проводилась с помощью спектрометра Horiba LabRAM HR Evolution, оснащенного оптическим микроскопом Olympus BX 41, голографической решеткой (600 штрих/мм) и CCD-детектором на основе кремния с Пельтье-охлаждением. Источником монохроматического возбуждающего излучения служил полупроводниковый лазер с рабочей длиной волны излучения 633 нм и выходной мощностью 5 мВт. Эффективный диаметр лазерного пучка вблизи поверхности образца составил около 2.6 мкм. КР-спектры регистрировались в диапазоне 100–2000 cm^{-1} со спектральным разрешением $\sim 2 cm^{-1}$.



Рис. 2. Сильно корродированный темно-коричневый призматический кристалл алланита-(Ce)/ферриалланита-(Ce) с обильными вростками фторкарбонатов РЗЭ в ассоциации с темно-зеленым шамозитом, серебристым молибденитом и черным фтораннитом в розовато-бежевом микроклине.

Размер образца $4 \times 3.5 \times 1.2$ см, фото А.М. Кузнецова.

Fig. 2. Strongly corroded dark-brown prismatic crystal of allanite-(Ce)/ferriallanite-(Ce) with numerous inclusions of REE fluorocarbonates associated with dark-green chamosite, silvery molybdenite and black fluorannite in pinkish-beige microcline.

Sample size is $4 \times 3.5 \times 1.2$ cm, photo by А.М. Kuznetsov.

Результаты

Изученный образец был отобран из пегматитовой глыбы размером около 40×30 см, после чего подвергнут травлению для удаления кальцита. Макроскопически он состоит из розоватого массивного микроклина с ограниченными головками, выходящими в полость, заполненную кальцитом, темно-зеленого пластинчато-волоконистого хлорита размером до 1×1 см, серебристого молибденита в виде розеток диаметром до 0.6 см, черного пластинчатого фтораннита до 0.5×0.5 см, а также сильно корродированного призматического кристалла темно-коричневого ортита размером 3×0.5 см (рис. 2). Изучение этого кристалла электронно-зондовым методом показало, что ортит по своему химическому составу отвечает алланиту-(Ce)/ферриалланиту-(Ce) (табл. 1, ан. 1–2). В подчиненном количестве в образце встречен пирит в виде мелких кубических кристаллов золотистого цвета размером до 0.05 см; аксессуарные минералы – монацит-(Ce), торит и флюорит; размеры их зерен не превышают 30 мкм. В той же пегматитовой глыбе, но не в прямой ассоциации с фторкарбонатами РЗЭ, отмечены эшинит-(Y), кричтонит, ильменит, рутил, титанит, циркон, фторпатит, мусковит, альбит и кварц.

Таблица 1

Химический состав силикатов из жилы № 35 (мас. %)

Table 1

Chemical composition of silicates from vein no. 35 (wt. %)

№ ан.	CaO	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	MgO	MnO	FeO*	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	TiO ₂	SiO ₂	H ₂ O*	Сумма
1	11.68	–	6.89	13.60	2.36	–	1.35	10.65	14.33	6.56	–	31.32	1.57	100.31
2	9.40	0.68	9.55	14.42	1.85	0.62	1.58	9.89	9.33	10.52	1.31	30.32	1.52	100.99
3	–	–	–	–	–	7.49	0.98	36.55	16.58	2.15	–	24.84	10.62	99.21

Эмпирические формулы, рассчитанные на Si = 3 и O = 13 (ан. 1, 2), на 10 катионов и O = 18 (ан. 3)

1	(Ca _{1.20} Ce _{0.48} La _{0.24} Nd _{0.08}) _{Σ2.00} (Al _{1.62} Fe ²⁺ _{0.85} Fe ³⁺ _{0.47} Mn _{0.11}) _{Σ3.05} [Si ₂ O ₇][SiO ₄]O(OH)													
2	(Ca _{1.00} Ce _{0.52} La _{0.35} Nd _{0.07} Y _{0.04}) _{Σ1.98} (Al _{1.08} Fe ²⁺ _{0.82} Fe ³⁺ _{0.78} Mn _{0.13} Ti _{0.10} Mg _{0.09}) _{Σ3.00} [Si ₂ O ₇][SiO ₄]O(OH)													
3	(Fe ²⁺ _{3.45} Mg _{1.26} Fe ³⁺ _{0.18} Mn _{0.09} Al _{1.02}) _{Σ6.00} (Al _{1.19} Si _{2.81}) _{Σ4.00} O ₁₀ (OH) ₈													

Примечание. 1 – алланит-(Ce); 2 – ферриалланит-(Ce); 3 – шамозит; * – отношение Fe²⁺/Fe³⁺ рассчитано по балансу зарядов, содержание H₂O – по стехиометрии. Прочерк – содержание компонента ниже предела обнаружения.

Note. 1 – allanite-(Ce); 2 – ferriallanite-(Ce); 3 – chamosite; * – Fe²⁺/Fe³⁺ ratio and H₂O content were recalculated by charge balance and stoichiometry, respectively. Dash – the content of element is below detection limit.

Алланит-(Ce)/ферриалланит-(Ce) корродирован высокожелезистым хлоритом, соответствующим по составу шамозиту (табл. 1, ан. 3), с которым срastaются многочисленные полиминеральные агрегаты фторкарбонатов РЗЭ (рис. 3). Некоторые из таких агрегатов эпитаксически нарастают непосредственно на корродированный кристалл алланита-(Ce)/ферриалланита-(Ce). Цвет агрегатов – светло-коричневый, блеск – жирный, максимальный размер – до 1 мм. Подробное изучение показало, что они представляют собой синтаксические срastания двух типов. Первый тип – это синтаксия рентгенита-(Ce) с паризитом-(Ce) и бастнезитом-(Ce) (рис. 4, 5), второй – паризита-(Ce) и бастнезита-(Ce) с синхизитом-(Ce) (рис. 6). Синтаксическое срastание рентгенита-(Ce) и синхизита-(Ce) не зафиксировано.

Химический состав фторкарбонатов РЗЭ, в целом, типичен для этих минералов (табл. 2). Для РЗЭ характерно отношение Ce > La > Nd > Pr. Тяжелые РЗЭ в пределах чувствительности использованного метода не фиксируются, за исключением незначительной примеси Gd в рентгените-(Ce), синхизите-(Ce) и паризите-(Ce). Поскольку измеренное содержание F оказалось несколько ниже теоретического, дефицит в данной позиции восполнялся расчетным OH. Суммы анализов, близкие к 100 % (при расчете содержания CO₂ по стехиометрии), указывают на корректность такого методологического подхода.

Для подтверждения электронно-зондовой диагностики зерна фторкарбонатов РЗЭ были извлечены из аншлифа и изучены рентгенографическим методом. Параметры их элементарных ячеек, рас-

считанные по порошковым рентгенограммам, приведены в табл. 3. Параметры гексагональной ячейки рентгенита-(Ce) из жилы № 35 ($a = 7.049(1)\text{\AA}$, $c = 69.283(30)\text{\AA}$, $V = 2981(1)\text{\AA}^3$, табл. 3), близки параметрам ячейки рентгенита-(Ce) из места его первой находки в пегматите Нарсарсук, Гренландия ($a = 7.13(3)\text{\AA}$, $c = 69.4(2)\text{\AA}$, $V = 3055.41\text{\AA}^3$, Donnay, Donnay, 1953) и подтверждают первоначальную диагностику этого минерала по химическому составу.

Будучи близки друг к другу в структурном и химическом отношениях, фторкарбонаты РЗЭ из жилы № 35 имеют и очень похожие КР-спектры (рис. 7). Интерпретация характеристических полос спектров основана на данных из работ (Nakamoto et al., 1957; Frost, Dickfos, 2007; Guastoni et al., 2010; Frost, 2013). Наиболее сильными у всех минералов являются полосы в районе 1100 см⁻¹. Они соответствуют ν_1 (симметричным валентным колебаниям анионов CO₃²⁻): у рентгенита-(Ce) отмечены три полосы – 1079, 1091 и 1097 см⁻¹, паризита-(Ce) – также три полосы (1080, 1091 и 1097 см⁻¹), синхизита-(Ce) – две полосы (1080 и 1097 см⁻¹) и две полосы (слабая при 1080 см⁻¹ и сильная при 1092 см⁻¹) – у бастнезита-(Ce). Слабые, налагающиеся друг на друга полосы в диапазоне 1350–1600 см⁻¹ интерпретируются как ν_3 (асимметричные валентные колебания анионов CO₃²⁻). Полосы в диапазоне 560–760 см⁻¹ отвечают ν_4 (деформационным колебаниям анионов CO₃²⁻). У рентгенита-(Ce) наиболее сильными в этом диапазоне являются полосы 606 и 731 см⁻¹, паризита-(Ce) – 604 и 737 см⁻¹, синхизита-(Ce) – 603 и 740 см⁻¹ и бастнезита-(Ce) – 607 и 735 см⁻¹. Внеплоскостные

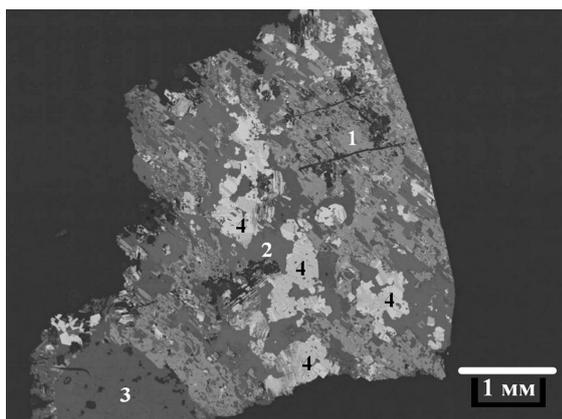


Рис. 3. Фрагмент сильно корродированного кристалла алланита-(Ce)/ферриалланита-(Ce) (1) с шамозитом (2), микроклином (3) и вростками фторкарбонатов РЗЭ (4).

Здесь и на рис. 4–6 – РЭМ-фото в отраженных электронах.

Fig. 3. Fragment of strongly corroded allanite-(Ce)/ferriallanite-(Ce) crystal (1) with chamosite (2), microcline (3) and REE fluorcarbonates inclusions (4).

Here and in Figs. 4–6 – SEM (BSE) photo.

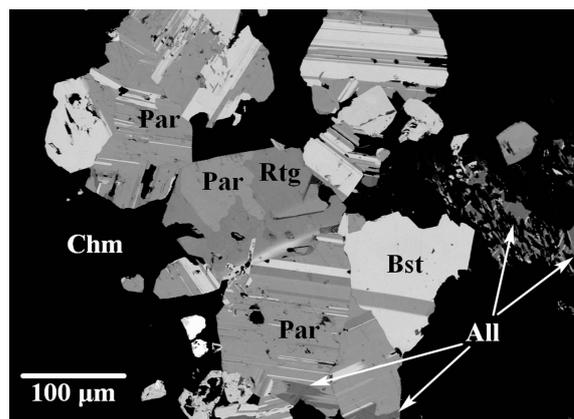


Рис. 4. Синтаксическое срастание рентгениита-(Ce) (Rtg) с паризитом-(Ce) (Par) и бастнезитом-(Ce) (Bst) в ассоциации с алланитом-(Ce) (All) и шамозитом (Chm).

Fig. 4. Syntaxial intergrowth of röntgenite-(Ce) (Rtg) with parisite-(Ce) (Par) and bastnäsite-(Ce) (Bst) in association with allanite-(Ce) (All) and chamosite (Chm).

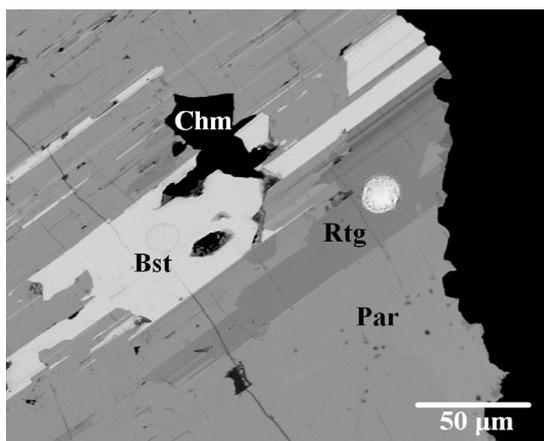


Рис. 5. Синтаксическое срастание рентгениита-(Ce) (Rtg) с паризитом-(Ce) (Par) и бастнезитом-(Ce) (Bst) в ассоциации с шамозитом (Chm).

Круги на участках рентгениита-(Ce) и бастнезита-(Ce) – являются следами от пучка электронного зонда.

Fig. 5. Syntaxial intergrowth of röntgenite-(Ce) (Rtg) with parisite-(Ce) (Par) and bastnäsite-(Ce) (Bst) in association with chamosite (Chm).

Circles on röntgenite-(Ce) and bastnäsite-(Ce) – are caused by the beam of the electron probe.

колебания ν_2 группы CO_3^{2-} проявляются в виде слабой полосы при $867\text{--}869\text{ см}^{-1}$. Полосы с частотами ниже 400 см^{-1} отнесены к решеточным колебаниям. Во всех спектрах присутствуют слабые полосы в диапазоне $1736\text{--}1748\text{ см}^{-1}$. Аналогичные полосы наблюдались в спектрах КР паризита-(Ce) и бастнезита-(Ce) из щелочных пегматитов горы

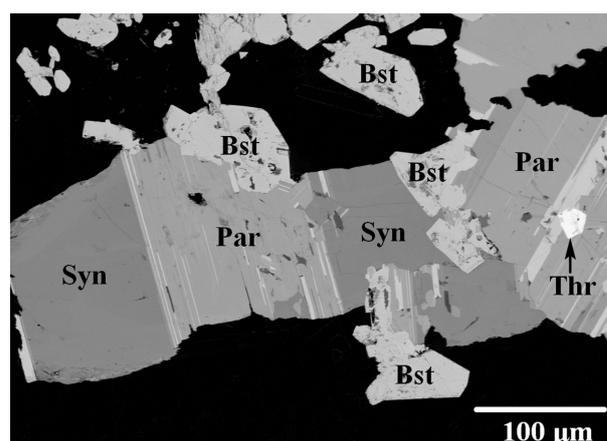


Рис. 6. Синтаксическое срастание синхизита-(Ce) (Syn) с паризитом-(Ce) (Par) и бастнезитом-(Ce) (Bst) в ассоциации с торитом (Thr).

Fig. 6. Syntaxial intergrowth of synchisite-(Ce) (Syn) with parisite-(Ce) (Par) and bastnäsite-(Ce) (Bst) in association with thorite (Thr).

Малога, Малави (Guastoni et al., 2010), а также паризита-(Ce) и бастнезита-(Ce) (Frost, Dickfos, 2007), однако интерпретация этих полос в указанных публикациях отсутствует. Предположительно, эти полосы можно отнести к обертонам ν_2 или комбинации полос $\nu_1 + \nu_4$. К сожалению, отмеченная нами в спектрах КР всех минералов сильная люми-

Таблица 2

Средний химический состав фторкарбонатов РЗЭ из жилы № 35 (мас. %)

Table 2

Average chemical composition of REE fluorcarbonates from vein no. 35 (wt. %)

№ п/п	CaO	ThO ₂	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	CO ₂ *	H ₂ O*	F	O = F	Сумма
1	13.00	0.82	0.33	19.56	27.82	2.17	6.27	0.69	0.44	25.80	0.55	6.55	-2.33	100.65
2	10.54	0.50	0.27	21.22	29.07	2.19	6.49	0.71	0.39	24.46	0.38	6.23	-2.62	99.83
3	17.71	0.37	0.33	17.79	24.38	1.86	6.07	0.61	0.31	27.65	0.42	5.09	-2.14	100.45
4	0.04	0.89	0.14	29.18	35.95	2.28	5.92	0.43	0.31	19.99	0.60	7.40	-3.12	100.51
Эмпирические формулы, рассчитанные на: 18 (ан. 1), 11 (ан. 2), 7 (ан. 3) и 4 (ан. 4) аниона														
1	(Ca _{1.98} Th _{0.03}) _{Σ2.01} (Ce _{1.45} La _{1.02} Nd _{0.32} Pr _{0.11} Sm _{0.03} Y _{0.02} Gd _{0.02}) _{Σ2.97} (CO ₃) ₅ [F _{2.48} (OH) _{0.52}] _{Σ3.00}													
2	(Ca _{1.01} Th _{0.01}) _{Σ1.02} (Ce _{0.96} La _{0.70} Nd _{0.21} Pr _{0.07} Sm _{0.02} Y _{0.01} Gd _{0.01}) _{Σ1.98} (CO ₃) ₃ [F _{1.77} (OH) _{0.23}] _{Σ2.00}													
3	Ca _{1.00} (Ce _{0.47} La _{0.35} Nd _{0.11} Pr _{0.04} Y _{0.01} Sm _{0.01} Gd _{0.01}) _{Σ1.00} (CO ₃) ₂ [F _{0.85} (OH) _{0.15}] _{Σ1.00}													
4	(Ce _{0.48} La _{0.39} Nd _{0.08} Pr _{0.03} Sm _{0.01} Th _{0.01}) _{Σ1.00} (CO ₃) ₁ [F _{0.85} (OH) _{0.15}] _{Σ1.00}													

Примечание. 1 – рентгенит-(Ce); 2 – паризит-(Ce); 3 – синхизит-(Ce); 4 – бастнезит-(Ce). Каждый из анализов является средним по результатам трех измерений; * – содержание CO₂ и H₂O рассчитано по стехиометрии.

Note. 1 – röntgenite-(Ce); 2 – parisite-(Ce); 3 – synchysite-(Ce); 4 – bastnäsite-(Ce). Each analysis is an average of three measurements; * – CO₂ and H₂O contents were calculated by stoichiometry.

Таблица 3

Параметры элементарных ячеек фторкарбонатов РЗЭ из жилы № 35

Table 3

Unit cell dimensions of REE fluorcarbonates from vein no. 35

Минерал	Сингония	Параметры ячеек				
		a, Å	b, Å	c, Å	β, °	V, Å ³
Рентгенит-(Ce)	Гекс.	7.049(1)		69.283(30)		2981(1)
Паризит-(Ce)	Мон.	12.291(2)	7.092(1)	28.247(4)	98.80(2)	2433.1(4)
Синхизит-(Ce)	Мон.	12.297(1)	7.0768(7)	18.628(2)	102.68(1)	1581.5(2)
Бастнезит-(Ce)	Гекс.	7.0726(1)		9.894(1)		428.60(9)

Примечание. Все параметры ячеек рассчитаны по порошковым рентгенограммам.

Note. All unit cell dimensions are calculated from X-ray powder data.

несценция в диапазоне 3000–3500 см⁻¹ не позволила подтвердить присутствие небольших количеств ОН-групп, замещающих F. Отметим, что спектр КР рентгенита-(Ce) ранее в научной литературе не публиковался.

Результаты наших исследований позволяют предположить следующую последовательность минералообразования в изученном образце: микроклин + алланит-(Ce)/ферриалланит-(Ce) + фтораннит + молибденит → шамозит + фторкарбонаты РЗЭ → кальцит. Полевой шпат, алланит и слюда подверглись значительной хлоритизации. Примерно в одно время с хлоритом сформировались и фторкарбонаты РЗЭ. Последние кристаллизовались типичным для них путем синтаксии – одновременного совместного роста, в данном случае, трех минералов, закономерно ориентированных относительно друг друга. Многочисленность по-

следних в изученном образце делает маловероятной версию о том, что единственным источником РЗЭ в них служил растворяющийся алланит-(Ce)/ферриалланит-(Ce). Вероятно, имелся дополнительный внешний источник РЗЭ, например, разложение какой-либо иной РЗЭ-содержащей фазы либо гидротермальные растворы были обогащены РЗЭ. В пользу последнего предположения говорит тот факт, что карбонаты и фторкарбонаты РЗЭ в породах Вишневогорского щелочного комплекса практически всегда описаны в поздних минеральных ассоциациях (Никандров, 1988; Кобяшев и др., 1998; Попова и др., 2019), при этом непосредственное замещение первичных силикатов или фосфатов карбонатами наблюдается редко.

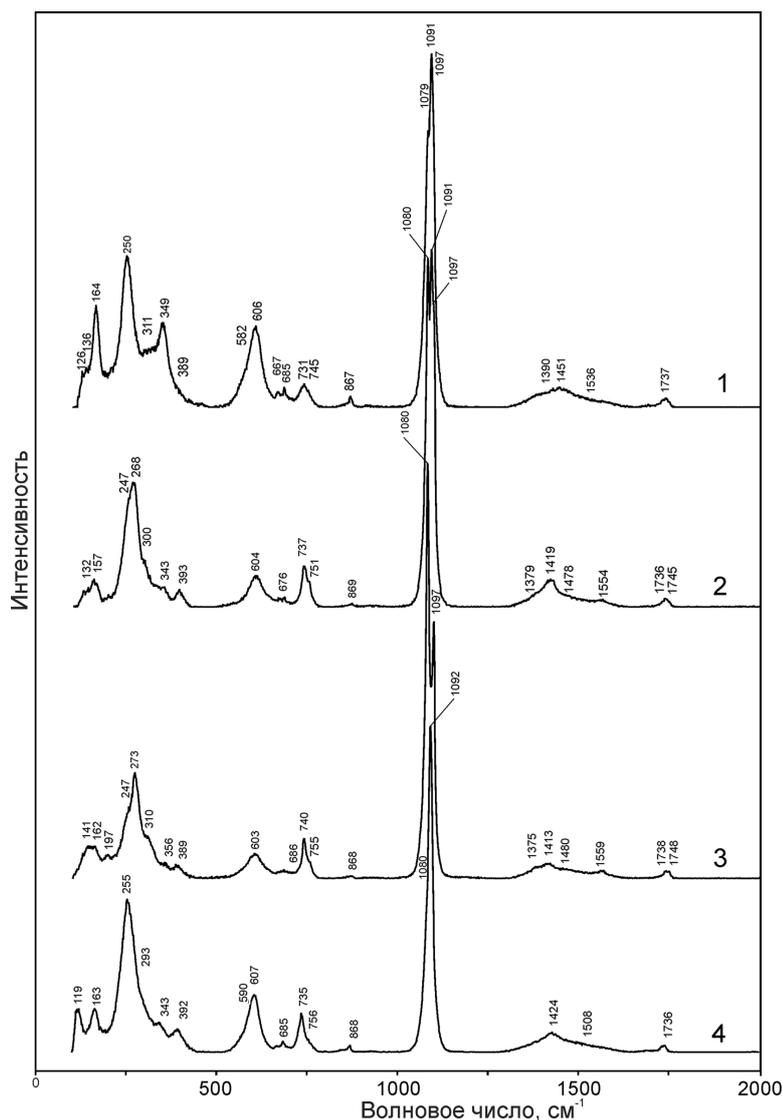


Рис. 7. Спектры КР фторкарбонатов РЗЭ: 1 – рентгениит-(Ce), 2 – паризит-(Ce), 3 – синхизит-(Ce), 4 – бастнезит-(Ce).
 Fig. 7. Raman spectra of REE fluorcarbonates: 1 – röntgenite-(Ce), 2 – parisite-(Ce), 3 – synchisite-(Ce), 4 – bastnäsite-(Ce).

Рентгениит-(Ce): обзор местонахождений и статус южноуральской находки

Среди изученных нами минералов самым редким, несомненно, является рентгениит-(Ce). Как уже отмечалось выше, впервые он был найден и описан в пегматите Нарсарсук, Гренландия (Donnay, 1953; Donnay, Donnay, 1953) в такой же минеральной ассоциации с паризитом-(Ce), синхизитом-(Ce) и бастнезитом-(Ce), что и на Южном Урале, и в таком же синтаксическом сростании с ними. Небольшое отличие от российского материала заключается в том, что фторкарбонаты РЗЭ из Гренландии сростаются не по трое, а попарно, образуя все возможные варианты синтаксии, за исключением пары

бастнезит-(Ce)–синхизит-(Ce) (Donnay, Donnay, 1953).

В литературе сообщается о множестве местонахождений рентгениита-(Ce). Так, в России находки рентгениита-(Ce) сделаны в породах нефтеносных районов Западной Сибири. В зальбандах кальцитовых жил, секущих осадочные породы Южно-Ларьякской площади (скв. 28, глубина 2700 м) на востоке Ханты-Мансийского АО, рентгениит-(Ce) образует радиально-лучистые и сноповидные агрегаты размером до 50–70 мкм. Источником РЗЭ для него послужил детритовый монацит, который был растворен на стадии катагенеза. В гранитоидах Урьевской нефтеразведочной площади, в керне из скважины

№ 2п, пробуренной в 60 км к северо-западу от г. Нижневартовск ХМАО, рентгенит-(Ce) установлен в виде мономинеральных индивидов и их сростков до 300 мкм, замещающих первичный акцессорный монацит, которые зачастую обрастают агрегаты паризита-(Ce). Сначала индивиды фосфата псевдоморфно заместились пористым агрегатом паризита-(Ce), а позднее образовались кристаллы рентгенита-(Ce) и их сростки. Формирование фторкарбонатов РЗЭ напрямую связано с низкотемпературной метасоматической проработкой гранитоида, проявленной альбитизацией и карбонатизацией, т.е. пропилитизацией (Ерохин, Иванов, 2012, 2017; Ерохин и др., 2017). В обоих случаях рентгенит-(Ce) диагностирован по данным электронно-зондового анализа.

В Узбекистане рентгенит-(Ce) предположительно встречен в единичных зернах в Чаткало-Кураминском регионе среди акцессорных минералов магматических пород. Минерал описан в виде изометричных розовато-бурых, оранжевых, медово-желтых до коричневых зерен размером десятые и сотые доли миллиметра, имеющих жирный блеск, твердость 3–4, удельный вес 4.21–4.23, показатели преломления $n_e = 1.756$, $n_o = 1.658$. (Минералы..., 1975). Несмотря на то, что авторами описания узбекского рентгенита-(Ce) (С.К. Смирнова, К. Урунбаев, Р.И. Чернова) приводятся его рентгенограмма и химический анализ, диагностику данного минерала неубедительна. Рентгенограмма не содержит сильных и характеристических линий рентгенита-(Ce) в районе 23.1, 11.5, 7.7 и 4.6 Å, тогда как имеющиеся пики в диапазоне 3.55–1.008 Å могут относиться к другим фторкарбонатам РЗЭ. Химический анализ также очень плохо рассчитывается на рентгенит-(Ce) как по стехиометрии, так и по сумме.

В Румынии минерал отмечен в синтаксических сростках с бастнезитом-(Ce), паризитом-(Ce) и синхизитом-(Ce), развивающихся по алланиту-(Ce), в РЗЭ рудопроявлении Жолотца (*Jolotca*), относящемся к щелочному массиву Дитрау (*Ditrau*) в Восточных Карпатах. В отраженном свете рентгенит-(Ce) бледно-желтый до бесцветного, оптически одноосный положительный. Показатели преломления и двупреломления ниже, чем у сростающихся с ним остальных фторкарбонатов РЗЭ. Помимо оптических свойств, рентгенит-(Ce) диагностирован по химическому составу (Hirtoranu et al., 2010).

В гранитоидах хребта Мечек (*Mecsek*) в Южной Венгрии рентгенит-(Ce) предположительно встречен в виде вростков размером до 70 мкм в неуставленном К-силикате в ассоциации с паризитом-(Ce), алланитом-(Ce), бритолином (?), апатитом, цирконом, титанитом, торитом, монацитом, уранинитом и рутилом. Диагностирован по химическому составу (Buda, Nagy, 1995).

В словацком месторождении Тисовец-Рейково (*Tisovec-Rejkovo*), расположенном в Западных Карпатах, рентгенит-(Ce), наряду с другими фтор- и гидроксилкарбонатами Ce и La, предположительно отмечен в виде зерен размером до 50 мкм в риолите (Ondrejka et al., 2007). Авторы приводят соответствующий электронно-зондовый анализ, однако оговаривают, что близость стехиометрий рентгенита-(Ce) и синхизита-(Ce) не позволяет однозначно идентифицировать эти минералы без рентгеновских данных.

Крайне сомнительными представляются находки рентгенита-(Ce) во Франции. Сообщается о находке этого минерала во флюоритовом руднике Марсанж (*Marsanges*), однако в подтверждение приведен только один ЭДС анализ, которым зафиксированы только Ca и РЗЭ с соотношением (~2:13), крайне далеким от такового в рентгените-(Ce) (2:3) (Perinet, 2014). Налицо ошибочная интерпретация химического анализа, который, скорее всего, относится к бастнезиту-(Ce). Упомянутая в этой же статье находка рентгенита-(Ce) из карьера Пульмарш (*Poulmarc'h*) в провинции Бретань базируется на данных сайта mindat.org и никак не подтверждена аналитически.

В Китае рентгенит-(Ce) найден в карбонатах Хуанлонпу (*Huanglongpu*) в горном хребте Циньлин. Он описан как самый поздний из фторкарбонатов РЗЭ, развивающийся по синтаксическим сросткам паризита-(Ce) и синхизита-(Ce), в свою очередь замещающим бастнезит-(Ce). Агрегаты фторкарбонатов РЗЭ развиваются по более ранним фазам – кальциту, монациту, алланиту, РЗЭ-обогащенному апатиту и другим минералам. Все минералы диагностированы по химическому составу (Smith et al., 2018). Упоминание о находке рентгенита-(Ce) на месторождении Мянньинь (*Mianning*) в китайской провинции Сычуань не сопровождается какой-либо аналитикой (Anthony et al., 2003).

Чешскими авторами описан рентгенит-(Ce) из различных карбонатитов Монголии (Kynický et al., 2005, 2006). В массивах Омнот Улгий (*Omnot*

Olgii) и Хурин Хад Толгод (*Khurin Khad Tolgod*) он отмечен в составе поликристаллов (синтаксических сростков с бастнезитом-(Ce), паризитом-(Ce) и синхизитом-(Ce)) размером до 0.5 мм, образующих прожилки серо-коричневого и красно-коричневого цвета во флюорите (Kupnický et al., 2005). В южно-монгольском карбонатитовом комплексе Люгин Гол (*Lugin Gol*) тонкие ламеллы рентгенита-(Ce) синтаксически сростаются с синхизитом-(Ce) и паризитом-(Ce) в составе мелко- и среднезернистых агрегатов серого и желто-коричневого цвета размером до 0.5 мм, развивающихся по гипогенному кальциту и замещающих бурбанкит. Зерна фторкарбонатов РЗЭ содержат многочисленные включения более мелких мозаичных агрегатов барита, целестина и кварца (Kupnický et al., 2006). К сожалению, в статьях нет подтверждающей вышеуказанные описания аналитики, хотя, по словам авторов, все минералы изучены оптически и с помощью электронно-зондового микроанализатора.

В США рентгенит-(Ce) наряду с другими фторкарбонатами РЗЭ отмечался в составе минералов, выполняющих микротрещины в гранитах карьера Редстоун (*Redstone*) в штате Нью-Гемпшир (Caruso, Simmons, 1985). Из публикации следует, что минерал диагностирован по химическому составу, но анализы авторы не приводят.

Несмотря на кажущуюся многочисленность местонахождений рентгенита-(Ce) по всему миру, стоит признать, что качество диагностики данного минерала оставляет желать лучшего. В большинстве случаев идентификация основана только на результатах электронно-зондовых анализов. Однако близость стехиометрий фторкарбонатов РЗЭ не позволяет считать такую идентификацию полностью надежной. Не случайно ряд авторов в своих публикациях сопровождают название данного минерала знаком вопроса (Минералы..., 1975; Buda, Nagy, 1995; Ondrejka et al., 2007). Так, например, диагностированный по химическому составу «рентгенит-(Ce)» из Канады (Horváth, Horváth-Pfenninger, 2000) по результатам доизучения оказался бастнезитом-(Ce) (Л. Хорват, персональное сообщение).

К первому автору настоящей работы неоднократно поступал на проверку «рентгенит» из разных местонахождений и стран, включая описанные выше, который в результате проверки рентгеновским методом оказывался Са-обогащенным бастнезитом. Собственно, как следует из названия минерала, он и был обнаружен именно благода-

ря рентгенографическому методу (Donnay, 1953), однако только в одной из многочисленных работ, рассмотренных выше, нам удалось найти соответствующие рентгеновские данные (Минералы..., 1975), да и те, скорее всего, относятся к другому фторкарбонату РЗЭ. Учитывая сказанное, наша находка рентгенита-(Ce), помимо того, что является первой на Урале, представляется весьма значимой в плане полноты диагностики как в Российской Федерации, так и во всем мире.

Заключение

Полученные данные о фторкарбонатах РЗЭ и ассоциирующих с ними минералах из жилы № 35 Вишневых гор на Южном Урале свидетельствуют о значительном минералогическом интересе этого объекта и необходимости продолжать его изучение. Несмотря на многолетнюю историю исследований щелочных пегматитов Вишневогорского массива, он по-прежнему остается источником редких минералов и новых находок как в Уральском регионе, так и во всей России.

Авторы выражают искреннюю признательность В.И. Поповой за ценные замечания и редакторскую правку настоящей статьи, А. Гуастони, В.В. Карпенко, Й. Киницки, Г. Коллеру, Л. Хорвату и М. Чириотти – за содействие в нахождении ряда литературных источников.

Литература

- Бонштедт-Куплетская Э.М.** (1951) Минералогия щелочных пегматитов Вишнёвых гор. М., АН СССР, 193 с.
- Ерохин Ю.В., Иванов К.С.** (2012) Редкоземельные карбонаты в осадках доюрского основания восточной части ХМАО (Западно-Сибирская плита). *Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы* (материалы XV Чтений памяти акад. А.Н. Заварицкого). Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 84–86.
- Ерохин Ю.В., Иванов К.С.** (2017) Гранитоиды из доюрского фундамента Нижневартовского свода (Урьевская площадь, Западная Сибирь). *Тектонические, магматические, метаморфические факторы формирования и размещения месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых* (материалы XVII Чтений памяти акад. А.Н. Заварицкого). Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 10–12.
- Ерохин Ю.В., Хиллер В.В., Иванов К.С.** (2017) Редкоземельные карбонаты в гранитоидах фундамента Нижневартовского свода (Урьевская площадь, ХМАО-Югра, Западная Сибирь). *Труды ИГГ УрО РАН*, 164, 207–210.

- Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н.** (1964) Минералогия и геохимия редких элементов Вишнёвых гор. М., Наука, 319 с.
- Иванов К.С., Писецкий В.Б., Ерохин Ю.В., Хиллер В.В., Погромская О.Э.** (2016) Геологическое строение и флюидодинамика фундамента Западной Сибири (на востоке ХМАО). Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 242 с.
- Исаков М.Г.** (1952) Материалы к изучению и промышленной оценке месторождений полезных ископаемых, связанных с Вишневогорским щелочным массивом. Свердловск, «Союзредметразведка», Уральская экспедиция. Рукопись. 27 с.
- Климов Н.Г., Роненсон Б.И.** (1963) Отчет по разведке Вишневогорского месторождения ниобия, расположенного в Кыштымском районе Челябинской области, с подсчетом запасов по состоянию на 01.07.1962 г. Том 1. Объяснительная записка, Челябинск-Свердловск, «Челябгеологоразведка». Рукопись. 378 с..
- Кобяшев Ю.С., Макагонов Е.П., Никандров С.Н.** (1998) Минералы Вишнёвых и Потаниных гор. Миасс, ИГЗ УрО РАН, 77 с.
- Макагонов В.А., Муфтахов В.А.** (2016) РЗЭ- и Sr-минерализация с перьеритом-(Ce) в щелочном силикатно-карбонатном парагенезисе экзоконтактовой зоны Вишневогорского массива (Южный Урал). *Минералогия*, 2(4), 19–30.
- Минералы Узбекистана** (1975) Том II. Ташкент, Фан УзССР, 335 с.
- Никандров С.Н.** (1988) Поздняя акцессорная редкометалльная минерализация в Вишневогорском комплексе. *Новые данные по минералогии Урала*. Свердловск, УрО АН СССР, 1988, 60–71.
- 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, 137–141.
- Попов В.А., Макагонов Е.П., Никандров С.Н.** (1986) Ретроспективная модель становления фенитовой минеральной формации в Ильменогорско-Вишневогорском комплексе щелочных пород. *Материалы к топоминералогии Урала*, 25–45.
- 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.
- Попов В.А.** (2019) Концентрически-зональный агрегат редкоземельных минералов в полевошпатовом пегматите Вишнёвых гор на Южном Урале. *Минералогия*, 1(5), 24–28.
- Попова В.И., Попов В.А., Блинов И.А., Котляров В.А., Касаткин А.В., Шкода Р., Лебедева С.М.** (2019) Новые находки редких минералов в пегматитах Вишнёвых гор на Южном Урале. *Минералогия*, 5(1), 3–14.
- Роненсон Б.М.** (1966) Происхождение миаскитов и связь с ними редкометалльного оруденения. М., Наука, 174 с.
- Халезова Е.Б., Назаренко И.И.** (1959) О бастнезите Вишнёвых гор. *Труды ИМГРЭ АН СССР*, вып. 2, 99–101.
- Чесноков Б.В.** (1963) Жилы альпийского типа в щелочных породах Вишневых гор. *Геология и полезные ископаемые Урала*, 42, 143–151.
- Anthony J.W., Bideaux R.A., Bladh K.W., Nichols M.C.** (2003) Handbook of mineralogy. Vol. 5. Borates, carbonates, sulfates, 791 p.
- Buda G., Nagy G.** (1995) Some REE-bearing accessory minerals in two types of variscan granitoids, Hungary. *Geologica Carpathica*, 46(2), 67–78.
- Caruso L., Simmons G.** (1985). Uranium and microcracks in a 1,000-meter core, Redstone, New Hampshire. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 90(1), 1–17.
- Ciobanu C.L., Kontonikas-Charos A., Slattery A., Cook N.J., Ehrig K., Wade B.P.** (2017) Short-range stacking disorder in mixed-layer compounds: A HAADF STEM study of bastnäsite-parisite intergrowths. *Minerals*, 7, 227.
- Donnay G.** (1953) Roentgenite, $3\text{CeFeCO}_3 \cdot 2\text{CaCO}_3$, a new mineral from Greenland. *American Mineralogist*, 38(9–10), 868–871.
- Donnay G., Donnay J.D.H.** (1953) The crystallography of bastnaesite, parisite, roentgenite, and synchisite. *American Mineralogist*, 38(11–12), 932–963.
- Frost R.L., Dickfos M.J.** (2007) Raman spectroscopy of halogen-containing carbonates. *Journal of Raman Spectroscopy*, 38(11), 1516–1522.
- Frost R.L., López A., Scholz R., Xi Y., 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.
- Guastoni A., Kondo D., Nestola F.** (2010) Bastnäsite-(Ce) and parisite-(Ce) from Mt. Malosa, Malawi. *Gems & Gemology*, 46(1), 42–46.
- Hirtopanu P., Andersen J.C., Fairhurst R.J.** (2010) Nb, Ta, REE (Y), Ti, Zr, Th, U and Te rare element minerals within the Ditrau alkaline intrusive complex, Eastern Carpathians, Romania. *Mineralogy of Székelyland, Eastern Transylvania, Romania*. Ed. by S. Szakáll and F. Kristály, Edit. Csík County Nature and Conservation Society, Sfântu Gheorghe-Miercurea Ciuc-Târgu Mures, Romania, 89–128.
- Horváth L., Horváth-Pfenninger E.** (2000) Die mineralien des Mont Saint-Hilaire. *Lapis*, 25(7–8), 23–61.
- Yynický J., Slavík M., Samec P.** (2005) Petrologická charakteristika karbonátů a jejich výskytu ve formacích Omnot Olgii a Khurin Khad Tolgod. *Conference: Scientific exploration of Mongolia*, December 2005, 4, 49–55.
- Yynický J., Slavík M., Samec P.** (2006) Intruzivní hydrotermálně přeměněné karbonáty jižního Mongolska.

Conference: *Scientific exploration of Mongolia*, March 2006, **5**, 24–35.

Merlet C. (1994) An accurate computer correction program for quantitative electron probe microanalysis. *Microchimica Acta*, **114/115**, 363–376.

Nakamoto K., Fujita J., Tanaka S., Kobayashi M. (1957) Infrared spectra of metallic complexes. IV. Comparison of the infrared spectra of unidentate and bidentate metallic complexes. *Journal of the American Chemical Society*, **79**(18), 4904–4908.

Ni Y., Hughes J.M., Mariano A.N. (1993) The atomic arrangement of bastnäsite-(Ce), $\text{Ce}(\text{CO}_3)_2\text{F}$, and structural elements of synchysite-(Ce), röntgenite-(Ce), and parisite-(Ce). *American Mineralogist*, **78**(3–4), 415–418.

Ondrejka M., Uher P., Pršek J., Ozdín D. (2007) Arsenian monazite-(Ce) and xenotime-(Y), REE arsenates and carbonates from the Tisovec-Rejkovo rhyolite, Western Carpathians, Slovakia: composition and substitutions in the $(\text{REE}, \text{Y})\text{XO}_4$ system (X = P, As, Si, Nb, S). *Lithos*, **95**, 116–129.

Perinet F. (2014) Minéraux des terres rares de Marsanges (Haute Loire). *Le Cahier des Micromonteurs*, **123**, 18–22.

Schmandt D.S., Cook N.J., Ciobanu C.L., Ehrig K., Wade B.P., Gilbert S., Kamenetsky V.S. (2017) Rare earth element fluorocarbonate minerals from the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia. *Minerals*, **7**, 202

Smith M., Kynicky J., Xu C., Song W., Spratt J., Jeffries T., Brtnický M., Kopriva A., Cangelosi D. (2018) The origin of secondary heavy rare earth element enrichment in carbonatites: Constraints from the evolution of the Huanglongpu district, China. *Lithos*, **308–309**, 65–82.

Van Landuyt J., Amelinckx S. (1975) Multiple beam direct lattice imaging of new mixed-layer compounds of the bastnaesite-synchysite series. *American Mineralogist*, **60**(5–6), 351–358.

References

Anthony J.W., Bideaux R.A., Bladh K.W., Nichols M.C. (2003) Handbook of mineralogy. Vol. 5. Borates, carbonates, sulfates, 791 p.

Bonshtedt-Kupletskaya E.M. (1951) [Mineralogy of alkali pegmatites of the Vishnevye Mountains]. Moscow, AN SSSR, 193 p. (in Russian).

Buda G., Nagy G. (1995) Some REE-bearing accessory minerals in two types of variscan granitoids, Hungary. *Geologica Carpathica*, **46**(2), 67–78.

Caruso L., Simmons G. (1985). Uranium and microcracks in a 1,000-meter core, Redstone, New Hampshire. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **90**(1), 1–17.

Chesnokov B.V. (1963) [Alpine-type veins in alkaline rocks of the Vishnevye Mountains] *Geologiya i poleznye iskopayemye Urala* [Geology and mineral deposits of the Urals], **42**, 143–151 (in Russian).

Ciobanu C.L., Kontonikas-Charos A., Slattery A., Cook N.J., Ehrig K., Wade B.P. (2017) Short-range stacking disorder in mixed-layer compounds: A HAADF STEM study of bastnäsite-parisite intergrowths. *Minerals*, **7**, 227

Donnay G. (1953) Roentgenite, $3\text{CeFeCO}_3 \cdot 2\text{CaCO}_3$, a new mineral from Greenland. *American Mineralogist*, **38**(9–10), 868–871.

Donnay G., Donnay J.D.H. (1953) The crystallography of bastnaesite, parisite, roentgenite, and synchysite. *American Mineralogist*, **38**(11–12), 932–963.

Erokhin Yu.V., Ivanov K.S. (2012) [REE-carbonates in sediments of pre-Jurassic basement of the eastern part of Khanty-Mansi Autonomous Okrug (West Siberian Plate)]. *Geodinamika, rudnye mestorozhdeniya i glubinnoe stroenie litosfery* [Geodynamics, ore deposits and deep structure of the lithosphere] (XV Readings in memory of Academician A.N. Zavaritsky). Yekaterinburg, IGG UrO RAN, 84–86 (in Russian).

Erokhin Yu.V., Ivanov K.S. (2017) [Granitoids of pre-Jurassic basement of the Nizhnevartovsk arch (Urievskaya oil-field, Western Siberia)]. *Tektonicheskie, magmaticheskie, metamorficheskie factory formirovaniya i razmeshcheniya mestorozhdeniy rudnykh i nerudnykh poleznykh iskopaemykh* [Tectonic, magmatic, and metamorphic factors of formation and location of ore and non-metallic mineral deposits] (XVII Readings in memory of Academician A.N. Zavaritsky). Yekaterinburg, IGG UrO RAN, 10–12 (in Russian).

Erokhin Yu.V., Hiller V.V., Ivanov K.S. (2017) [REE-carbonates in granitoids from pre-Jurassic basement of the Nizhnevartovsk arch (Urievskaya oil-field, Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra, Western Siberia)]. *Trudy IGG UrO RAN* [Proceedings of the Institute of Geology and Geochemistry of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences], **164**, 207–210 (in Russian).

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

Frost R.L., Dickfos M. J. (2007) Raman spectroscopy of halogen-containing carbonates. *Journal of Raman Spectroscopy*, **38**(11), 1516–1522.

Frost R.L., López A., Scholz R., Xi Y., 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.

Guastoni A., Kondo D., Nestola F. (2010) Bastnäsite-(Ce) and parisite-(Ce) from Mt. Malosa, Malawi. *Gems & Gemology*, **46**(1), 42–46.

Hirtopanu P., Andersen J.C., Fairhurst R.J. (2010) Nb, Ta, REE (Y), Ti, Zr, Th, U and Te rare element minerals within the Ditrau alkaline intrusive complex, Eastern Carpathians, Romania. *Mineralogy of Székelyland, Eastern Transylvania, Romania*. Ed. by S. Szakáll and F. Kristály, Edit. Csík County Nature and Conservation Society,

Sfântu Gheorghe-Miercurea Ciuc-Târgu Mures, Romania, 89–128.

Horváth L., Horváth-Pfenninger E. (2000) Die mineralien des Mont Saint-Hilaire. *Lapis*, **25**(7–8), 23–61 (in German)

Isakov M.G. (1952) [Materials for study and economic value of mineral deposits related to the Vishnevogorsky alkaline complex]. Manuscript. 27. (in Russian)

Ivanov K.S., Pisetsky V.B., Yerokhin Yu.V., Hiller V.V., Pogromskaya O.E. (2016) [Geological structure and fluid dynamics of the basement of Western Siberia (east of Khanty-Mansi Autonomous Okrug)]. Yekaterinburg, IGG UrO RAN, 242 p. (in Russian)

Khalezova E.B., Nazarenko I.I. (1959) [Bastnaesite from the Vishnevye Mountains]. *Trudy IMGRE [Proceedings of IMGRE]*, AN SSSR, **2**, 99–101.

Klimov N.G., Ronenson B.I. (1963) Report on the prospect of the Vishnevogorskiy Nb deposit located in Kyshtym area of Chelyabinsk oblast, with ore reserves at 01.07.1962. Volume 1. Explanatory note, 378 (in Russian)

Kobyashev Yu.S., Makagonov E.P., Nikandrov S.N. (1998) [Minerals of Vishnevye and Potaniny Mountains]. Miass, IGZ UrO RAN, 77 p. (in Russian).

Kynický J., Slavík M., Samec P. (2005) Petrologická charakteristika karbonátů a jejich výskytu ve formacích Omnot Olgii a Khurin Khad Tolgod. *Conference: Scientific exploration of Mongolia*, December 2005, **4**, 49–55.

Kynický J., Slavík M., Samec P. (2006) Intruzivní hydrotermálně přeměněné karbonáty jižního Mongolska. *Conference: Scientific exploration of Mongolia*, March 2006, **5**, 24–35.

Makagonov E.P., Muftakhov V.A. (2016) [REE and Sr mineralization with perrierite-(Ce) in alkaline silicate-carbonate assemblage of the contact zone of the Vishnevogorsk block (South Urals)]. *Mineralogia [Mineralogy]*, **2**(4), 19–30 (in Russian)

Merlet C. (1994) An accurate computer correction program for quantitative electron probe microanalysis. *Microchimica Acta*, **114/115**, 363–376.

Minerals of Uzbekistan (1975) Volume II. Tashkent, Fan UzSSR, 335 p. (in Russian)

Nakamoto K., Fujita J., Tanaka S., Kobayashi M. (1957) Infrared spectra of metallic complexes. IV. Comparison of the infrared spectra of unidentate and bidentate metallic complexes. *Journal of the American Chemical Society*, **79**(18), 4904–4908.

Ni Y., Hughes J.M., Mariano A.N. (1993) The atomic arrangement of bastnaesite-(Ce), Ce(CO₃)F, and structural elements of synchysite-(Ce), röntgenite-(Ce), and parisite-(Ce). *American Mineralogist*, **78**(3–4), 415–418.

Nikandrov S.N. (1988) [Late accessory rare metal mineralization of Vishnevogorsky complex]. *Novye dannye po mineralogii Urala [New data on mineralogy of the Urals]*, Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 60–71 (in Russian).

Ondrejka M., Uher P., Pršek J., Ozdín D. (2007) Arsenian monazite-(Ce) and xenotime-(Y), REE arsenates and carbonates from the Tisovec-Rejkovo rhyolite, Western Carpathians, Slovakia: Composition and substitutions in the (REE,Y)XO₄ system (X = P, As, Si, Nb, S). *Lithos*, **95**, 116–129.

Pekov I.V., Kulikova I.M., Nikandrov S.N. (1996) [Composition of rare earth carbonates from hydrothermalites of Vishnevogorsky alkaline complex]. *Uralskaya letniyaya mineralogicheskaya shkola-96 [Uralian summer mineralogical school-96]*, Yekaterinburg, UGGA, 137–141 (in Russian)

Perinet F. (2014) Minéraux des terres rares de Marsanges (Haute Loire). *Le Cahier des Micromonteurs*, **123**, 18–22.

Popov V.A., Makagonov E.P., Nikandrov S.N. (1986) [Retrospective model of fenite mineral formation in Ilmenogorsko-Vishnevogorsky complex of alkaline rocks]. *Materialy k topomineralogii Urala [Materials on topomineralogy of the Urals]*, 25–45.

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

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

Popova V.I., Popov V.A., Blinov I.A., Kotlyarov V.A., Kasatkin A.V., Škoda R., Lebedeva S.M. (2019) [New findings of rare minerals in pegmatites of Vishnevye Mountains in the Southern Urals]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(1), 3–14.

Ronenson B.M. (1966) [Origin of miaskites and their link to rare metal mineralization]. Moscow, Nauka, 174 p. (in Russian).

Schmandt D.S., Cook N.J., Ciobanu C.L., Ehrig K., Wade B.P., Gilbert S., Kamenetsky V.S. (2017) Rare earth element fluorocarbonate minerals from the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia. *Minerals*, **7**, 202

Smith M., Kynický J., Xu C., Song W., Spratt J., Jeffries T., Brtnický M., Kopriva A., Cangelosi D. (2018) The origin of secondary heavy rare earth element enrichment in carbonatites: Constraints from the evolution of the Huanglongpu district, China. *Lithos*, **308–309**, 65–82.

Van Landuyt J., Amelinckx S. (1975) Multiple beam direct lattice imaging of new mixed-layer compounds of the bastnaesite-synchysite series. *American Mineralogist*, **60**(5–6), 351–358.

Поступила в редакцию 21 апреля 2019 г.