

УДК 545.744.12(470.5)

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ФТОРКАРБОНАТЫ В ПОРОДАХ САФЬЯНОВСКОГО МЕДНО-ЦИНКОВО-КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

© 2023 г. Е. И. Сорока^{1,*}, М. Е. Притчин¹, Л. В. Леонова¹, В. А. Булатов¹

Представлено академиком РАН Н.С. Бортниковым 22.04.2022г.

Поступило 22.04.2022 г.

После доработки 21.09.2022 г.

Принято к публикации 22.09.2022 г.

Впервые в рудовмещающей толще Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения (Средний Урал) найдены редкоземельные фторкарбонаты: бастнезит, синхизит-(Ce), синхизит-(Y) в ассоциации с флюоритом, кальцитом, баритом, пиритом, сфалеритом. Образцы с фторкарбонатной минерализацией были обнаружены на глубине 262 м в кварцевых прожилках в измененной околорудной зоне пирит-карбонат-каолинит-серицит-кварцевого состава на контакте с массивными пирит-халькопиритовыми и пирит-сфалеритовыми рудами. Предполагается, что РЗЭ-фторкарбонаты образовались из гидротермального раствора одновременно с флюоритом и кальцитом. Это событие может быть связано с периодом гидротермальной активности, проявленной на постколлизии-онном этапе развития Уральской складчатой системы.

Ключевые слова: редкоземельные фторкарбонаты, синхизит-(Ce), синхизит-(Y), бастнезит, флюорит, кварц-каолинит-пирит-серицитовые метасоматиты, медно-цинково-колчеданное месторождение

DOI: 10.31857/S2686739722600552, **EDN:** FZQGDO

На колчеданных месторождениях Урала фторкарбонаты редкоземельных элементов (РЗЭ) – бастнезит, паризит, синхизит – впервые были обнаружены в тонкослоистых сульфидных рудах Талганского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал) [2]. На Сафьяновском медно-цинково-колчеданном месторождении (Средний Урал) впервые в околорудных породах обнаружены фторкарбонаты церия и иттрия (синхизит, бастнезит) в ассоциации с флюоритом, кварцем, кальцитом.

Сафьяновское месторождение, крупнейшее по запасам меди на Среднем Урале, находится в 9 км северо-восточнее г. Реж (Свердловская область). Оно приурочено к Восточно-Уральской мегазоне, а по структурному положению – к южной части Режевской структурно-формационной зоны (СФЗ). Внутреннее строение СФЗ характеризуется сложным комплексом надвиговых дислокаций, обусловивших пространственную совмещенность разновозрастных и различных по природе комплексов [17]. Рудовмещающая вулка-

ногенно-осадочная толща месторождения включает вулканогенные образования (риолиты, риодациты, андезиты), известняки и углеродисто-кремнистые отложения [18] и имеет мощность около 500 м. Вулканогенные породы рудовмещающей толщи отнесены к базальт-риолитовой формации среднего девона, либо к базальт-андезит?–дацит-риолитовой формации нижне-среднего девона [12]. По данным [10], в рудовмещающую толщу месторождения входят эффузивные образования верхнего силура. С юго-запада часть Сафьяновского рудного поля перекрывается тектонической пластиной с гипербазитами Режевского массива ордовикского возраста (рис. 1). По [18] главная рудная залежь месторождения представляет собой остаток холма девонского черного курильщика.

Массивные колчеданные, медно-цинковые и медные прожилково-вкрапленные руды локализованы преимущественно в брекчированных метасоматически измененных вулканитах кислого состава (риолитах, риодацитах). Основная масса сульфидных руд располагается в северной части рудного поля, вскрытой карьером. В южной части месторождения, перекрытой по надвигу Режевским гипербазитовым массивом, сульфидные руды образуют прерывистую цепочку линзовидных залежей и обрабатываются подземным способом.

¹Институт геологии и геохимии
им. акад. А.Н. Заварицкого Уральского отделения
Российской академии наук, Екатеринбург, Россия
*E-mail: elsoroka@yandex.ru

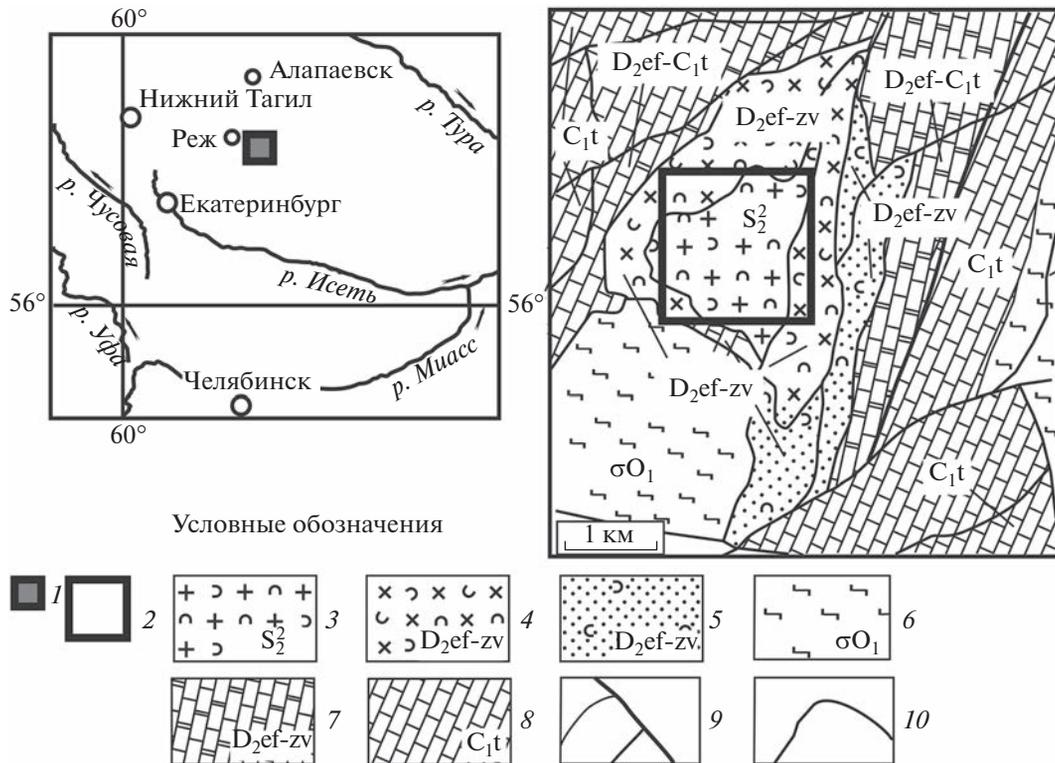


Рис. 1. Обзорная карта и геологическая схема Сафьяновского рудного поля. 1 – Сафьяновского рудное поле; 2 – Сафьяновский карьер; 3 – туфы кислого-среднего состава, риолиты, риодациты, андезиты, верхний силур; 4 – вулканогенно-осадочные породы с прослоями известняков и углеродисто-кремнистых пород, средний девон; 5 – вулканогенно-осадочные породы, песчаники, алевропесчаники, средний девон; 6 – серпентиниты; 7 – мраморизованные известняки, средний девон-нижний карбон; 8 – известняки, турнейский ярус; 9 – тектонические границы, разрывные нарушения; 10 – геологические границы.

Образцы с фторкарбонатной минерализацией были обнаружены в шахте в южной части Сафьяновского месторождения на глубине 262 м в измененной околорудной зоне пирит-карбонат-каолинит-серицит-кварцевого состава. Породы зоны находятся на контакте с массивными пирит-халькопиритовыми и пирит-сфалеритовыми рудами и разбиты сетью жилок и прожилков, состоящих из кварца, флюорита, карбонатов, (преимущественно кальцита), РЗЭ-фторкарбонатов и барита. РЗЭ-фторкарбонаты изучались в полированных шлифах, обр. ш 4/17, при помощи физико-аналитических методов в Институте геологии и геохимии УрО РАН (центр “Геоаналитик”). Анализ проводился на электронно-зондовом микроанализаторе “Самес” SX 100 и при помощи сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV (“JEOL”) с ЭДС-спектрометром “Inca Energy” 450. Напыление углеродное (углерод не измерялся), ускоряющее напряжение 20 кV, режим обратно-рассеянных электронов (BSE). Анализ на микрозондовом анализаторе проводился при ускоряющем напряжении 15 кV и токе электронного зонда 20 нA с использованием кристалл-анализаторов TAP, LPC0, LPET, PET, LLIF, LIF; время накопления

импульсов в максимуме пика составило 10 с.; в качестве стандартов использовались фтор-флогопит (F, K), диопсид (Ca), SiO_2 (Si), TiO_2 (Ti), Al_2O_3 (Al) и алюмосиликатные стекла, легированные РЗЭ (La, Ce, Y, Sm, Pr, Nd, Eu, Gd, Dy, Th). Результаты представлены в табл. 1.

Расчет вхождения в формулу SiO_2 не проводился, т.к. кремнезем не входит в эмпирические формулы, а сами минералы находятся в кварцевом прожилке, поэтому при анализе возможно влияние вмещающей матрицы. Минералы, к которым относятся согласно полученным формулам РЗЭ-фторкарбонаты: 1, 3, 4, 6 – синхизит-(Y) (аналог и разновидность синхизита-(Ce)); 2, 6 – синхизит-(Ce); 7–10 – бастнезит. Некоторое превышение фтора (>1 ф.е.) можно объяснить влиянием флюорита, который находится в образце иногда непосредственно на контакте с фторкарбонатами. Занижение фтора (<1) в формулах 4 и 10 возможно вызвано замещением части F на OH (формулы 4, 10).

По результатам анализа (табл. 1) сделан расчет формул РЗЭ-фторкарбонатов, исходя из эмпирических формул крайних членов ряда синхизита-(Ce) $\text{CaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$ и бастнезита (Ce, La, Y) CO_3F :

Таблица 1. Состав РЗЭ-фторкарбонатов кварц-каолинит-пирит-серицитово́й зоны Сафьяновского месторождения (обр. ш 4/17), мас. %

Состав	РЗЭ-фторкарбонаты (точки анализа в зернах)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	0.25	0.23	0.02	0.04	0.28	0.45	0.57	0.86	0.52	1.64
Y ₂ O ₃	12.66	6.36	13.11	14.23	5.67	14.77	2.04	1.63	1.42	2.97
Ce ₂ O ₃	10.3	15.81	11.06	9.51	17.49	10.29	30.04	30.1	31.56	23.23
La ₂ O ₃	3.47	7.5	3.38	3.49	8.49	3.95	15.9	15.62	15.19	11.26
ThO ₂	0	0	0	0.11	0.14	0	0	0	0	0
Pr ₂ O ₃	3.38	3.97	3.08	2.7	4.61	1.85	2.95	2.7	3.61	2.56
Nd ₂ O ₃	12.24	9.86	11.04	13.03	11.1	10.54	12.62	12.46	12.33	11.44
Sm ₂ O ₃	2.35	4.15	2.13	1.44	2.94	2.93	1.73	1.64	1.47	1.71
Eu ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	1.53	0	0	0
Gd ₂ O ₃	5.31	3.58	4.3	4.75	3.49	3.37	1.25	1.05	0.73	1.58
Dy ₂ O ₃	1.27	0.87	1.35	1.49	1.28	1.57	0	0	0	0
CaO	17.78	17.3	18.65	18.81	17.28	18.3	1.32	1.28	1.17	5.46
F	5.78	6.64	5.9	5.5	6.09	6.5	8.78	9.14	9.39	5.73
–O≡F ₂	–2.43	–2.79	–2.48	–2.31	–2.56	–2.73	–3.69	–3.84	–3.95	–2.41
Сумма	72.36	73.48	71.54	72.79	76.3	71.79	75.04	72.64	73.44	65.17

Примечание. Сумма дана без учета содержания CO₂; –O≡F₂ – F/2.378 – нормированное содержание фтора по отношению к кислороду; анализы 1–5 выполнены на электронно-зондовом микроанализаторе “Самес” SX 100 (оператор В.А. Булатов); 6–10 – на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390LV (“JEOL”) с ЭДС-спектрометром “Inca Energy” 450 (оператор Л.В. Леонова).

Расчетные формулы минералов:

- 1 – синхизит-(Y) – Ca_{0.96}(Y_{0.34}Nd_{0.22}Ce_{0.19}Gd_{0.09}La_{0.08}Pr_{0.06}Sm_{0.04}Dy_{0.02})_{1.04}[CO₃]₂F_{0.92};
- 2 – синхизит-(Ce) – Ca_{1.1}(Ce_{0.35}Nd_{0.21}Y_{0.2}La_{0.19}Pr_{0.09}Sm_{0.09}Gd_{0.07}Dy_{0.02})_{1.2}[CO₃]₂F_{1.26};
- 3 – синхизит-(Y) – Ca_{1.0}(Y_{0.35}Ce_{0.2}Nd_{0.2}La_{0.07}Gd_{0.07}Pr_{0.06}Sm_{0.04}Dy_{0.02})_{1.01}[CO₃]₂F_{0.94};
- 4 – синхизит-(Y) – Ca_{1.01}(Y_{0.38}Nd_{0.23}Ce_{0.17}Gd_{0.08}La_{0.08}Pr_{0.05}Dy_{0.02})_{1.03}[CO₃]₂(F_{0.87}OH_{0.13})_{1.0};
- 5 – синхизит-(Ce) – Ca_{0.95}(Ce_{0.33}Nd_{0.2}La_{0.2}Y_{0.2}Pr_{0.09}Gd_{0.06}Sm_{0.05}Dy_{0.02})_{1.1}[CO₃]₂F_{0.99};
- 6 – синхизит-(Y) – Ca_{0.97}(Y_{0.39}Ce_{0.19}Nd_{0.19}La_{0.08}Gd_{0.06}Sm_{0.05}Pr_{0.03}Dy_{0.02})_{1.04}[CO₃]₂F_{1.02};
- 7 – бастнезит – (Ce_{0.4}La_{0.25}Nd_{0.17}Ca_{0.05}Y_{0.04}Sm_{0.02}Eu_{0.02}Gd_{0.015})CO₃F_{1.02}
- 8 – бастнезит – (Ce_{0.42}La_{0.25}Nd_{0.17}Ca_{0.05}Pr_{0.04}Y_{0.03}Sm_{0.02}Gd_{0.01})CO₃F_{1.1}
- 9 – бастнезит – (Ce_{0.43}La_{0.24}Nd_{0.2}Pr_{0.05}Ca_{0.05}Y_{0.03}Sm_{0.02}Gd_{0.01})CO₃F_{1.1}
- 10 – бастнезит – (Ce_{0.4}Ca_{0.3}La_{0.2}Nd_{0.2}Y_{0.07}Pr_{0.04}Sm_{0.03}Gd_{0.02})_{0.92}CO₃(F_{0.78}OH_{0.22})_{1.0}

Как отмечалось выше, в исследуемом образце зерна синхизита встречаются преимущественно в кварце, часто на границе с кальцитом и иногда в самом кальците или флюорите (рис. 2 а, д, е). Они могут достигать 50 мкм (рис. 3, в, г). Иногда минерал (анализ 1 в табл. 1) встречается в сростках с баритом (рис. 2 а). В зернах минерала содержится 5.67–14.77 мас. % Y₂O₃ (табл. 1, анализы 1, 3, 4, 6; рис. 2 а–г). Сингония синхизита ромбическая или псевдогексагональная [4]. На (рис. 2 б) в сечении кристалликов видна форма грани $c\{0001\}$ –

близкая по габитусу к шестиугольнику. Синхизит-(Ce) в исследуемом образце встречается на контакте с кальцитом и серицитом (рис. 2 г). На BSE-снимках синхизит-(Y) выглядит более окристаллизованным, чем синхизит-(Ce): для его сечений характерны правильные кристаллографические очертания.

В исследуемом образце бастнезит находится преимущественно внутри зерен синхизита. В минерале обнаружено небольшое количество CaO (табл. 1, ан. 7–10), 1.17–5.46 мас. %. Синхизит с

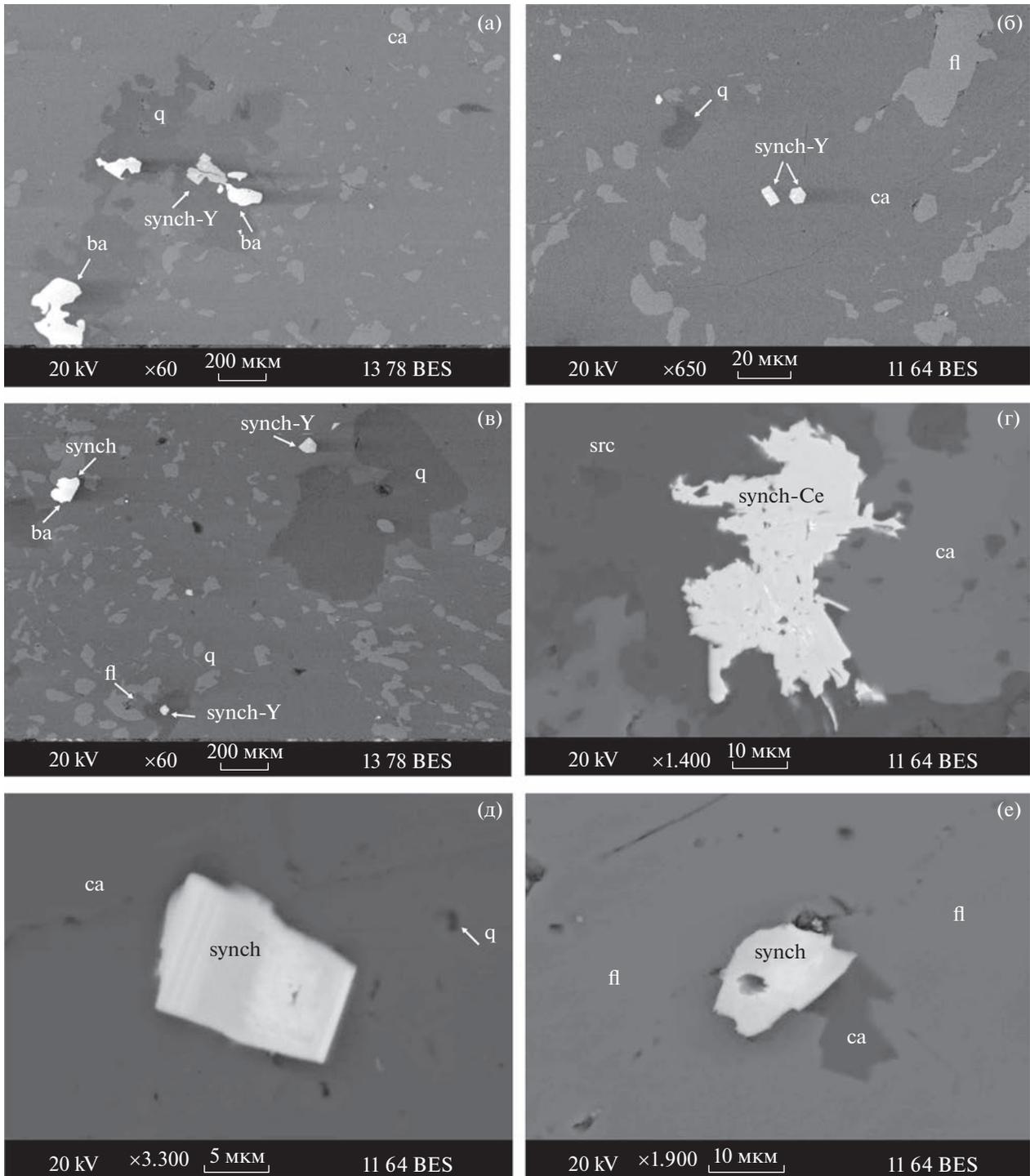


Рис. 2. Синхизит в кварц-каолинит-пирит-серицитово-й породе Сафьяновского месторождения (обр. ш 4/17, глубина 262 м): а – синхизит-(Y) (анализ 1, табл. 1) в кварце на контакте с баритом; б – кристаллы синхизита-(Y) (анализы 3, 4, табл. 1) в кальците и кварце; в – кристаллы синхизита-(Y) в кальците и кварце; г – синхизит-(Ce) (анализ 5, табл. 1) на контакте с кальцитом и серицитом; д – кристалл синхизита в кальците; е – синхизит и кальцит во флюорите. Synch-(Y)–(Ce) – синхизит-(Y), синхизит-(Ce); q – кварц; ca – кальцит; ba – барит; fl – флюорит; src – серицит.

бастнезитом отмечается на контакте с кварцем, кальцитом, флюоритом, а иногда с серицитом и каолинитом (рис. 3 б, г). Сингония бастнезита тригональная, формы выделения таблитчатые по

(0001) с четко выраженной отдельностью в этом направлении [4]. Для бастнезита характерны веерообразные сростки пластинчатых кристаллов [15], которые выделяются на фото в режиме BSE

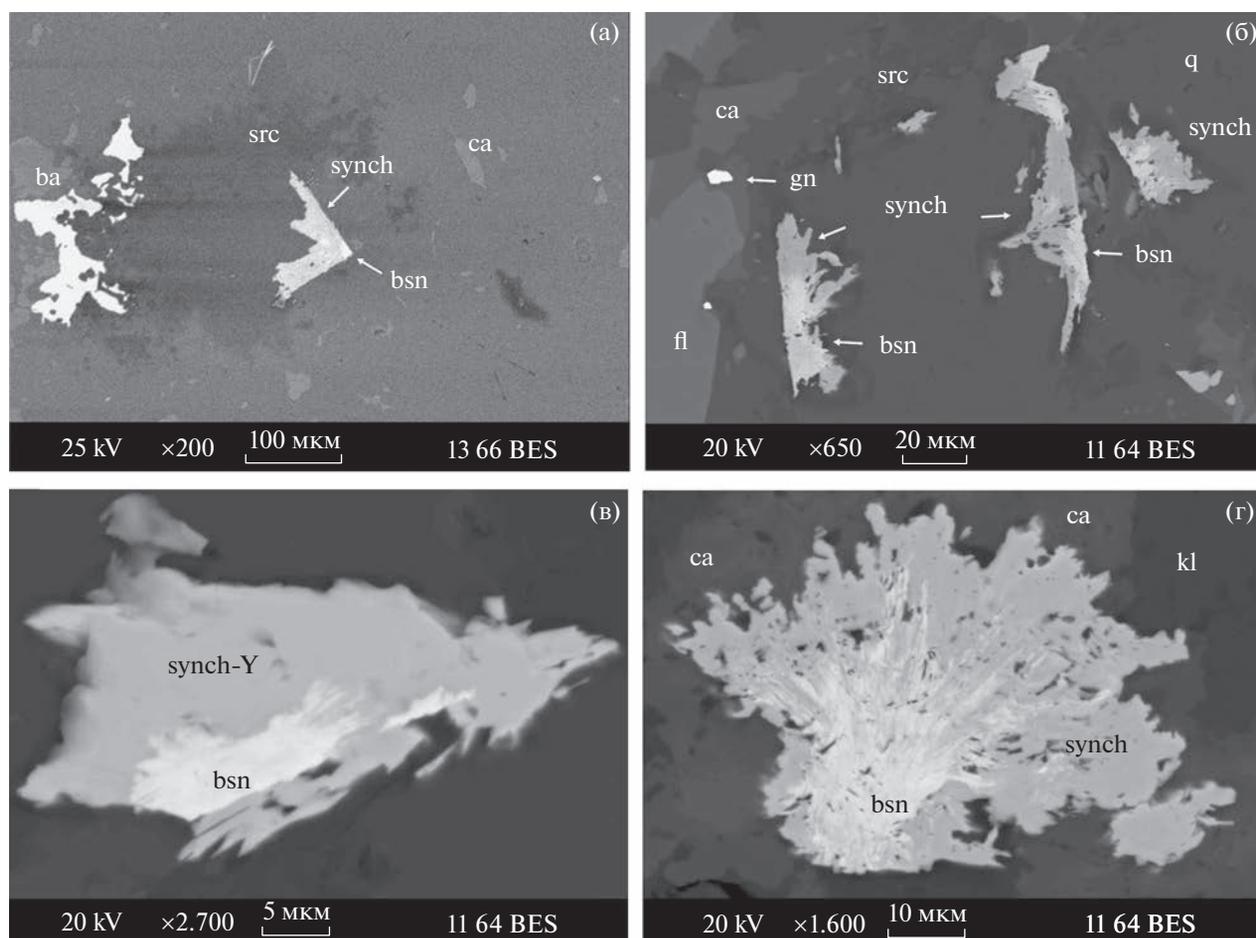


Рис. 3. Синхизит и бастанезит в кварц-каолинит-пирит-серицитово́й породе Сафьяновского месторождения (обр. ш 4/17, глубина 262 м): а – синхизит-(Ce) (анализ 2, табл. 1) и бастанезит на контакте с серицитом; б – бастанезит (анализ 7, табл. 1) в синхизите на контакте с серицитом, в породе присутствует галенит; в – синхизит-(Y) (анализ 6 в табл. 1) с выделениями бастанезита (анализы 9,10, табл. 1); г – синхизит с выделениями бастанезита (анализ 8, табл. 1) на контакте с кальцитом и каолинитом. Synch-(Y)-(Ce) – синхизит-(Y), синхизит-(Ce); bsn – бастанезит; q – кварц; ba – барит; ca – кальцит; gn – галенит; fl – флюорит; src – серицит; kl – каолинит.

внутри зерен синхизита благодаря более светлому оттенку (рис. 3 в, г).

Находки РЗЭ-фторкарбонатов обычно характерны для щелочных пород и связанных с ними месторождений [4, 15]. Синхизит-(Y) встречается достаточно редко, в частности, он был отмечен в гидротермалитах по граниту, пегматитах щелочных гранитов, где образовался при гидротермально-пневматолитическом изменении монацита [4], а также во включениях флюорита в камерных пегматитах [6].

На Урале РЗЭ-фторкарбонаты, в том числе, бастанезит, синхизит известны на Вишневогорском миазитовом массиве, где они встречаются в кварцсодержащих прожилках в виде сростков и микровключений в других минералах, в частности, в кальците [8]. На Приполярном Урале синхизит обнаружен в хрусталеносном гнезде в кварц-серицитовых сланцах (PR_{pv}) пуйвинской

свиты [16]. Порода приурочена к системе разрывных нарушений, связанных с дайкой порфировидных диабазов, секущих гранитоиды. На Среднем Урале паразит с примесью иттрия были обнаружены в диоритах Мариинского (Малышевского) месторождения бериллия [9]. Минерал содержит Y_2O_3 до 0.7 мас. % и встречается в тектонизированных участках диоритов. Предполагается, что он образовался по зернам первичного монацита в результате гидротермальной проработки рудовмещающей толщи.

Фторкарбонаты редко встречаются на колчеданных месторождениях, где их происхождение трактуется, в основном, как вторичное гидротермальное и метаморфогенное [3, 20]. На Талганском Cu-Zn-колчеданном месторождении (Южный Урал) РЗЭ-фторкарбонаты (бастанезит, синхизит, паразит) обнаружены в кварц-карбонат-хлоритовом цементе сульфидных слоев, а также в

конкрециях и кристаллах пирита, где они часто находятся в нерудной массе ядер пиритовых конкреций в сростании с ксенотимом-(Y). Содержание Y_2O_3 в синхизите достигает 4.06 мас. % [2]. Предполагается [2], что отложению РЗЭ-фторкарбонатов на Талганском месторождении способствовало высвобождение фтора при разложении гиалокластитов в результате взаимодействия с морской водой. Но, учитывая данные экспериментальных работ о нахождении фтора и хлора в силикатных расплавах [1], присутствие фтора в системе в результате растворения гиалоклаستيки представляется маловероятным.

Из других провинций фторкарбонаты ранее были описаны на Тишинском колчеданно-полиметаллическом месторождении на Рудном Алтае [3]: в кальците $C_F = 0.28-1.14$ мас. %, несколько обогащенном также Y (0.19–0.31 мас. %). Из прочих минералов-носителей фтора здесь установлен фтор-гидроксил-апатит (1.90–2.50 мас. % F) с примесью Sr, Y, Zn, иногда Ba, Ce. Эти минералы с (F, Y, Ce) встречены на месторождении в основном на наиболее глубоких горизонтах лежащего бока месторождения в зоне развития ассоциации повышенной щелочности: серицит–хлорит–кварц–карбонат * калишпат * апатит. Для таких пород характерны довольно высокие, по сравнению с фоновыми, содержания P_2O_5 (до 1 мас. %), TiO_2 (до более чем 1.5 мас. %), F (до 1 мас. %), В (тысячные доли – 0.06 мас. %), Zn, Sr (сотые доли %), Sc, Ga, Nb, Y (тысячные доли %). Поскольку месторождение находится в зоне смятия, и в породах зон максимального динамометаморфизма отмечается повышение содержания фтора (до 1 мас. %), сделан вывод о кристаллизации этих минералов с участием метаморфических флюидов [3].

На Сафьяновском месторождении не отмечено сростков или замещения монацита и ксенотима РЗЭ-фторкарбонатами. Монацит и ксенотим встречаются на месторождении как акцессорные минералы вмещающих вулканитов [13]. В качестве новообразованных, содержащих редкие земли минералов, встречаются алюмофосфат стронция – гоацит, часто в сростках с баритом и сульфидами [13, 18], а из новообразованных фосфатов – броккит. Содержание редких земель в околорудных вулканитах месторождения низкое (9.37–36.72 г/т), а графики их распределения в основном соответствуют кислым вулканитам [13].

РЗЭ-фторкарбонаты кварц-каолинит-пирит-серицитовой зоны Сафьяновского месторождения приурочены к прожилкам с флюоритом. Флюорит характеризуется варьирующими содержаниями иттрия: от 4 до 160 г/т, а содержания редкоземельных элементов в нем колеблются от 80 до 280 г/т с преобладанием легких РЗЭ [11]. По данным изучения газово-жидких включений [11],

флюорит образовался из гидротермального раствора при температурах от 180–240°C, раствор содержал NaCl с возможными примесями NaF, KF, KCl и Na_2SO_4 . Для флюорита был выполнен расчет ϵNd на возраст 218.9 ± 9.8 млн лет; начальное $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.512622 \pm 0.000016$. MSWD = 0.35 [14]. Флюорит имеет высокие положительные значения $\epsilon Nd = (5.4)$, что позволяет предположить, что источником Nd, и, возможно, фтора, могли быть глубинные магматические очаги.

При изучении флюорита Сафьяновского месторождения рентгенолюминесцентным методом были получены данные о наличии кислородосодержащих тригональных $Gd^{3+}-O^{2-}$ дефектов в его структуре [5]. По мнению [5], наличие подобных дефектов указывает на кристаллизацию флюорита из гидротермальных растворов, содержащих свободный кислород, что возможно при смешении флюида с приповерхностными водами в поровом пространстве, где кристаллизуются также карбонаты, пирит, фториды.

Сафьяновское месторождение относится к слабо метаморфизованному колчеданному месторождением уральского типа [19]. Для месторождений уральского типа возможно присутствие флюорита и кальцита в метасоматитах центрального рудопроводящего канала (например, на Гайском месторождении), но ранее не отмечались РЗЭ-фторкарбонаты. На Сафьяновском месторождении в рудах присутствуют люционит и энаргит ($Cu_3AsS_4 - Cu_3SbS_4$), в которых мышьяк и сурьма находятся в окисленном пятивалентном состоянии, что может свидетельствовать о повышенной активности кислорода при их образовании. По данным [13], кварц-каолинит-серицитовые метасоматиты приконтактовых зон месторождения образовались в низкотемпературных условиях, соответствующих энаргитовой субфации (180–300°C). Это соответствует данным по температуре образования флюорита [11].

Радиологические возраста серицитов околорудных метасоматитов Сафьяновского месторождения, определенные калий-аргоновым методом, дают изохроны: 350 ± 2 млн лет и 267 ± 6 млн лет [17]. По мнению [7], возраст 267 ± 6 млн лет отвечает вторичным преобразованиям пород, связанным с постколлизийными процессами, которые характеризуются на этом этапе развития Уральской складчатой системы усилением гидротермальной деятельности, а в некоторых случаях, образованием малых интрузивных тел. Вероятно, гидротермальная активность, сопровождавшаяся серицитизацией, на Сафьяновском месторождении на постколлизийном этапе была связана с пострудным преобразованием вмещающих пород, их разуплотнением вследствие тектонического разрушения при релаксации внутренних напряжений, тем не менее, не вызвавших существенных

изменений в рудах месторождения. Результатом этого процесса стала многочисленная прожилковая минерализация, контролируемая тектоническими зонами небольшой протяженности и неглубокого заложения.

Таким образом, предполагается, что образование РЗЭ-фторкарбонатов в окологорных метасоматитах рудовмещающей тощи Сафьяновского цинково-медно-колчеданного месторождения было связано с пострудной гидротермальной активностью, проявленной на постколлизийном этапе развития Уральской складчатой системы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны главному геологу АО “Сафьяновская медь” Н.В. Лещеву за помощь в организации полевых исследований, а также И.Л. Недосековой и Ю.В. Ерохину за конструктивные замечания.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГГ УрО РАН, темы № 123011800011-2, № 123011800014-3 и № АААА-А-19-119071090011-6 с использованием оборудования ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН. Дооснащение и комплексное развитие ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН осуществляется при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2021-680.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анфилов В.Н., Анфилова Г.И., Бобылев И.Б., Зюзева Н.А.* Формы нахождения фтора и хлора в силикатных расплавах // *Геохимия*. 1984. № 5. С. 751–756.
2. *Аюпова Н.Р., Масленников В.В., Артемьев Д.А., Блинов И.А.* Минералого-геохимические особенности конкреций пирита из сульфидных турбидитов Талганского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал) // *Литология и полезные ископаемые*. 2019. № 6. С. 518–539.
3. *Викентьев И.В., Гончарова Т.Я., Лапутина И.П.* Метаморфические минералы Тишинского месторождения на Рудном Алтае // *Вестник Моск. унта. Сер. геология*. 1994. № 2. С. 64–72.
4. *Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов / Под ред. К.А. Власова.* Москва: Наука, 1964. Т. 2. 815 с.
5. *Глухов Ю.В., Лютюев В.П., Сорока Е.И., Притчин М.Е.* Кислородсодержащие дефекты в спектрах рентгенолюминесценции флюорита Сафьяновского медно-колчеданного месторождения и их типоморфное значение // *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН*. 2018. № 8. С. 34–38.
6. *Гуров Е.П., Гурова Е.П.* Итросинхизит из камерных пегматитов // *Труды минералогического музея имени А.Е. Ферсмана*. 1975. Вып. 24. С. 171–174.
7. *Кисин А.Ю., Коротеев В.А.* Градиенты стрессовых напряжений — как причина перемещения вещества при общекоровой складчатости // *ДАН*. 2009. Т. 424. № 1. С. 67–70.
8. *Минералогический альманах / В.И. Попова, В.А. Попов и др.* 2021. Т. 25. Вып. 3. 128 с.
9. *Попов М.П., Ерохин Ю.В., Хиллер В.В.* Монацит и паризит в диоритах Мариинского месторождения (Уральские изумрудные копи) // *Уральская минералогическая школа-2009. Под знаком халькофильных элементов. Сб. матер.* Екатеринбург. 2009. С. 132–134.
10. *Притчин М.Е., Сорока Е.И., Пучков В.Н.* Новые U-Pb изотопные данные для циркона из риолита Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // *Литосфера*. 2021 № 6. С. 884–893.
11. *Сафина Н.П., Сорока Е.И., Анкушева Н.Н., Киселева Д.В., Блинова И.А., Садыков С.А.* Флюорит в рудах Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения, Средний Урал: ассоциации, состав, генезис // *Геология рудных месторождений*. 2021. Т. 63. № 2. С. 132–153.
12. *Смирнов В.Н.* Основные этапы магматизма восточного склона Среднего Урала // *Литосфера*. 2012. № 5. С. 4–15.
13. *Сорока Е.И., Молошаг В.П., Леонова Л.В., Галеев А.А.* Новые данные по гидротермально-измененным породам Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал) // *Ученые Записки Казанского государственного университета*. 2009. Т. 151. Кн. 1. С. 235–246.
14. *Сорока Е.И., Притчин М.Е., Зайцева М.В., Стрелецкая М.В., Сафина Н.П.* Sm-Nd изотопия флюорита Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // *Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения-2018)*, Сыктывкар: Геопринт. 2018. С. 203–204.
15. *Хомяков А.П., Семенов Е.И.* Гидротермальные месторождения фторкарбонатов редких земель. Москва: Наука, 1971. 135 с.
16. *Юхтанов П.П., Бураков Е.В.* Анкилит и синхизит из хрусталеносных гнезд Приполярного Урала // *Труды Института геол., Коми филиал АН СССР*. 1985. Вып. 50. № 14. С. 99–104.
17. *Язева Р.Г., Молошаг В.П., Бочкарев В.В.* Геология Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал). Препринт. Екатеринбург: УрО РАН. 1992. 71 с.
18. *Ярославцева Н.С., Масленников В.В., Сафина Н.П., Лещев Н.В., Сорока Е.И.* Углеродсодержащие алевропелиты Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения (Средний Урал) // *Литосфера*. 2012. № 2. С. 106–123.
19. *Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P.* Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. *Ore geology // Ore Geology Reviews*. 2017. 85. P. 30–63.
20. *Yuanming Pan, Fleet M.E., Barnett R.I.* Rare-earth mineralogy and geochemistry of the Mattagami Lake volcanogenic massive sulfide deposit, Quebec // *The Canadian Mineralogist*. 1994. V. 32. P. 133–147.

RARE EARTH FLUOROCARBONATES IN ROCKS OF THE SAFYANOVSKY COPPER-ZINC-PYRITE DEPOSIT (MIDDLE URALS)

E. I. Soroka^{a,#}, M. E. Pritchins^a, L. V. Leonova^a, and V. A. Bulatov^a

^aZavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

[#]E-mail: elsoroka@yandex.ru

Presented by Academician of the RAS N.S. Bortnikov April 22, 2022

For the first time, rare earth (REE)-fluorocarbonates were found in the ore-bearing rocks of the Safyanovsky copper-zinc-pyrite deposit (Middle Urals): synchysite, bastnasite, in association with fluorite, calcite, dolomite, barite, pyrite, sphalerite. Samples with REE-fluorocarbonate mineralization were found at a depth of 262 m in an altered near-ore zone of pyrite-carbonate-kaolinite-sericite-quartz composition in contact with massive pyrite-chalcopyrite and pyrite-sphalerite ores. It is assumed that REE-fluorocarbonates were formed from a hydrothermal solution together with fluorite and calcite. This event may be associated with a period of hydrothermal activity manifested at the post-collision stage of the development of the Ural folded system.

Keywords: rare earth (REE) fluorocarbonates, synchysite-(Ce),-(Y), bastnasite, fluorite, quartz-kaolinite-pyrite-sericite metasomatites, copper-zinc-pyrite deposit