

УДК 549.3:553.435(470.5)

ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РУДАХ ТАЛГАНСКОГО МЕДНО-ЦИНКОВО-КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ЮЖНЫЙ УРАЛ

Н. Р. Аюпова^{1,2,*}, член-корреспондент РАН В. В. Масленников^{1,2}, К. А. Филиппова¹

Поступило 14.02.2019 г.

Высокие содержания РЗЭ (57,23–561,2 г/т) в тонкослоистых сульфидных рудах Талганского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал) связаны с присутствием собственных минералов — галгенбергита, паризита, бастнезита, синхизита и ксенотима, впервые установленных в колчеданных месторождениях Урала. Минералы РЗЭ встречаются в кварц-карбонат-хлоритовом цементе сульфидных слоёв, а также в конкрециях и суб- и эвгедральных кристаллах пирита. Спектры распределения РЗЭ, нормированные на хондрит, характеризуются обогащением лёгкими РЗЭ относительно тяжёлых и присутствием слабых отрицательной Се- и положительной Еu-аномалий. С уменьшением количества гиалокластического материала в сульфидных слоях содержание лёгких РЗЭ снижается на порядок и наблюдается выравнивание содержаний лёгких и тяжёлых РЗЭ. Источником вещества для образования минералов РЗЭ служил карбонатно-гиалокластический материал, который смешивался с рудными обломками при формировании слоистых сульфидных руд.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, карбонаты и фтор-карбонаты РЗЭ, ксенотим, медно-цинково-колчеданное месторождение, Урал.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524876659-662>

В древних колчеданоносных районах распределение и минеральные формы РЗЭ до сих пор слабо изучены из-за их крайне низкого содержания в колчеданных рудах. Известны лишь единичные месторождения (например, Кидд-Крик и Брейсмак-Мак-Леод в Канаде), руды которых обогащены РЗЭ и содержат собственные минералы (монацит, алланит, ксенотим, паризит, синхизит, эвксенит), образование которых объясняется либо гидротермальными, либо метаморфическими преобразованиями руд [5, 6, 9].

В сообщении рассмотрены распределение и формы нахождения РЗЭ в тонкослоистых сульфидных рудах Талганского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал) с целью выявления особенностей поведения РЗЭ в процессах литогенеза кластогенных сульфидных отложений и определения источников вещества для образования минералов РЗЭ. Для минералого-геохимических исследований использованы штучные образцы слоистых руд размером 7 × 1220 × 26 см, отобранные в процессе рудно-фациального картирования рудной залежи в штольне месторождения. Задачи исследований: 1) определение содержаний РЗЭ в пределах

сульфидных слоёв с применением ИСП-МС анализа (масс-спектрометр Agilent 7700x), 2) построение спектров распределения РЗЭ для оценки вклада гидротермальных, литогенных и гидрогенных факторов в их накопление и 3) изучение минеральных форм РЗЭ с использованием оптического (Olympus BX51) и электронного (Tescan Vega 3 sbu с энергодисперсионным анализатором Oxford Instruments X-act) микроскопов.

Талганское месторождение расположено в Верхнеуральском рудном районе в пределах Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги на Южном Урале. Рудная залежь линзообразной формы локализована в породах кислой толщи карамалыташской свиты живетского возраста (D_2gvkr_1) [3]. Талганское месторождение относится к слабометаморфизованным колчеданным месторождениям [12], рудные тела которого по результатам рудно-фациального картирования реконструированы как рудокластическая линза с реликтами гидротермальной постройки [4, 7]. Балансовые запасы руд по категории C_1 составляют: Cu 112,9 тыс. т и Zn 112 тыс. т при среднем содержании Cu 3,37 и Zn 3,39% [2].

Тонкослоистые сульфидные руды месторождения — это дистальные отложения рудокластических потоков мощностью от десятков сантиметров до первых метров, локализованные в виде седиментационного ареала вокруг сульфидного холма [8].

¹ Институт минералогии Уральского отделения Российской Академии наук, Миасс

² Южно-Уральский государственный университет, Челябинск

*E-mail: ayupova@mineralogy.ru

Нами изучены руды восточного и юго-восточного флангов рудной залежи, которые представляют собой ритмичное чередование сульфидных слоёв (мощностью до первых сантиметров) с тонкими слойками (до 0,5 мм) пелитового карбонатно-гиалокластического материала. Горизонтальные границы сульфидных слоёв чёткие, в отдельных слоях сохранились признаки их продавливания рудокластами и гиалокластами. Тонкообломочный сульфидный материал в них преобразован и представлен: 1) аутигенными шаровидными (диаметр от 30 до 200 мкм) конкрециями с включениями халькопирита, сфалерита, галенита, теннантита и нерудных минералов, 2) зональными суб- и эвгдральными кристаллами пирита (до 30 мкм), образованными в результате обрастания рудокластического материала пиритом, и 3) псевдоморфозами пирита по кристаллам пирротина. Цементирующая кремнисто-карбонатно-глинистая масса, которая присутствует в разных сочетаниях в сульфидных слоях, состоит из кварца, кальцита, хлорита, иллита и рутила.

Спектры распределения содержаний РЗЭ в сульфидных слоях, нормированные на хондрит, характеризуются обогащением лёгкими РЗЭ относительно тяжёлых, присутствием слабых отрицательной Ce ($Ce/Ce^* = 0,6-0,8$) и положительной Eu ($Eu/Eu^* = 1,0-1,2$) аномалий (рис. 1а). С уменьшением количества карбонатно-гиалокластического материала содержание лёгких РЗЭ снижается на порядок (от 561,2 до 57,23 г/т) и происходит выравнивание содержаний лёгких и тяжёлых РЗЭ (табл. 1).

Обогащение РЗЭ сульфидных слоёв связано с присутствием карбонатов и фторкарбонатов РЗЭ, среди которых диагностированы бастнезит и кальцево-редкоземельные разновидности с соотношением в атомных количествах Ca/РЗЭ, сходных с таковыми в паризите (0,39–0,46), синхизите (1,15) и галгенбергите (0,10–0,14) и РЗЭ-содержащий ксенотим.

Галгенберgit выявлен в ядре деформированных конкреций пирита в ассоциации с хлоритом и каль-

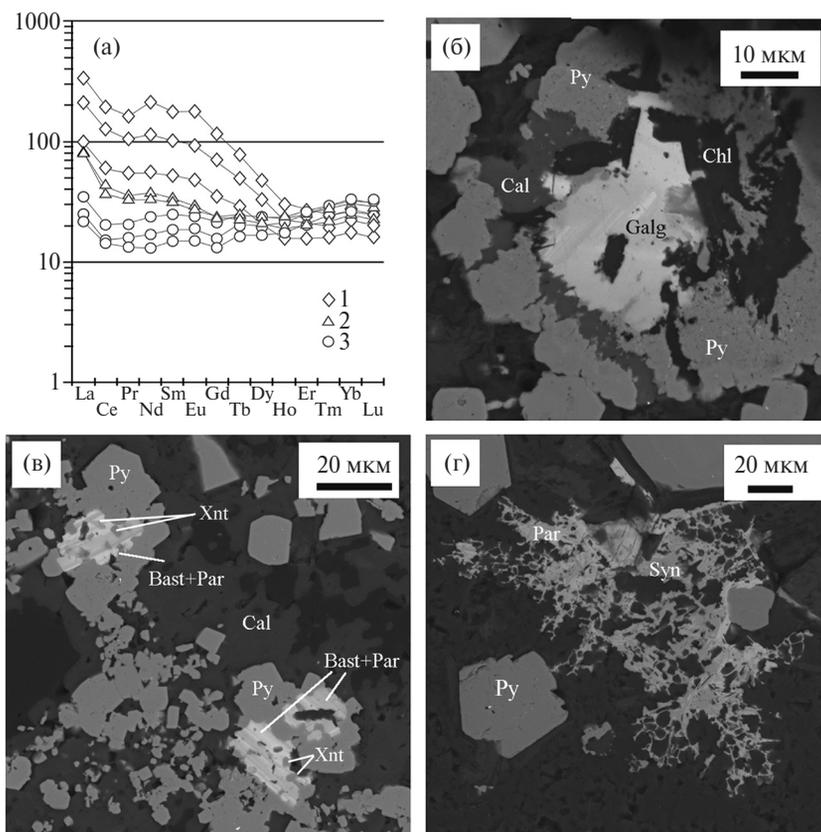


Рис. 1. а — спектры распределения содержаний РЗЭ в тонкослоистых рудах Талганского месторождения, нормированные на хондрит [6]: 1 — карбонатно-гиалокластитовые слои с примесью сульфидного материала; 2, 3 — сульфидные слои с обильным (2) и незначительным (3) количеством карбонатно-гиалокластического материала. б, г — сростания минералов РЗЭ в тонкослоистых рудах Талганского месторождения (СЭМ-фото): б — галгенберgit (Galg) в ядре конкреции пирита (Py); в — параллельные сростки кристаллов бастнезита (Bast) и паризита (Par) с включениями ксенотима (Xnt) в суб- и эвгдральных агрегатах пирита; г — синхизит (Syn)-паризитовая ассоциация в нерудной матрице. Chl — хлорит, Cal — кальцит.

Таблица 1. Содержания РЗЭ и Y в тонкослоистых сульфидных рудах Талганского медно-цинково-колчеданного месторождения (г/т)

№	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ	Y
1	115	176	22,7	137	34,5	12,97	30,1	3,66	14,4	2,33	5,45	0,79	6,05	0,84	561,21	40,9
2	71,9	116	15,7	87,9	19,7	6,34	16,9	2,52	12,9	2,83	8,16	1,35	10,85	1,54	374,53	53,0
3	71,3	115	15,0	72,8	20,4	6,98	17,1	2,32	9,92	1,72	4,23	0,64	4,95	0,69	343,52	30,3
4	33,3	54,1	7,61	35,1	10,2	3,55	9,10	1,36	6,12	1,24	3,17	0,52	3,90	0,55	169,89	21,7
5	30,9	33,5	4,63	21,1	6,03	1,93	6,13	1,17	7,13	1,77	5,04	0,90	6,81	0,97	127,96	30,8
6	27,2	39,3	5,57	24,1	6,87	2,33	6,42	1,03	5,31	1,31	3,43	0,58	4,45	0,63	128,49	21,6
7	26,3	33,1	4,43	21,2	6,31	2,13	6,20	1,08	6,40	1,46	4,19	0,73	5,67	0,82	119,99	26,9
8	27,5	39,0	4,97	23,7	6,43	2,11	6,08	1,04	6,02	1,46	4,04	0,70	5,43	0,76	129,18	26,0
9	7,57	13,0	1,85	8,53	2,89	1,09	3,43	0,81	5,07	1,38	4,16	0,78	5,85	0,85	57,23	24,0
10	8,47	13,6	2,22	10,8	3,64	1,35	4,12	0,96	6,00	1,69	5,09	0,93	7,29	1,10	67,29	29,3
11	12,3	18,7	2,95	15,2	4,93	1,78	5,67	1,16	7,20	1,85	5,25	0,95	7,25	1,05	86,19	34,4

Примечание. Анализы выполнены в Институте минералогии УрО РАН на масс-спектрометре Agilent 7700х.

цитом в виде (до 30–40 мкм) изометричных агрегатов зёрен (рис. 1б). *Паризит* и *бастнезит* образуют параллельные сростки короткостолбчатых кристаллов размером до 20–30 мкм и содержат включения ксенотима (рис. 1в). Сростки этих минералов встречаются в субгедральных агрегатах и в наружной зоне конкреций пирита. *Синхизит* образует бесформенные массы размером до 100–150 мкм в нерудной матрице в ассоциации с паризитом (рис. 1г). *Ксенотим* в виде включений (до 20 мкм) присутствует в наружной зоне конкреций и субгедральных агрегатах пирита, а также в параллельно-шестоватых агрегатах бастнезита и паризита (рис. 1в).

Таким образом, в продуктах литогенетического преобразования переотложенных сульфидных руд в смеси с известково-гиалокластическим материалом происходило накопление РЗЭ и образование их собственных минералов. Сходные спектры РЗЭ с последовательным уменьшением содержаний лёгких РЗЭ в слоистых сульфидных рудах в зависимости от количества известково-гиалокластического материала свидетельствуют, что основным источником РЗЭ являлись гиалокластиты. Резкое обогащение лёгкими РЗЭ относительно тяжёлых и отсутствие каких-либо аномалий обычны для спектра распределения РЗЭ гиалокластитов рудовмещающей толщи Талганского месторождения [1]. Известно, что гиалокласты легко разлагаются при взаимодействии с морской водой, а в продуктах их разложения происходит локальное перераспределение РЗЭ [11]. Высвобождение фтора при разложении гиалокластов [10] в рудах способствовало отложению фтор-карбонатов РЗЭ из обогащённых F и CO₂ поровых флюидов. Параллельные сростки фтор-карбонатов РЗЭ, имеющие вид единых кристаллов, свидетельствуют об их адаптации к меняющимся в широком диапазоне температурным и рН условиям в процес-

сах литогенеза гиалокластитово-сульфидных отложений.

Источники финансирования. Исследования выполнены по бюджетной теме Института минералогии УрО РАН (2019–2011 гг.) и проекта РФФИ № 17–05–00854.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аюпова Н.Р., Масленников В.В.* Гальмиролититы Узельгинского колчеданоносного поля (Южный Урал). Миасс: УрО РАН, 2005. 199 с.
2. *Зайков В.В., Масленников В.В., Новоселов К.А. и др.* Материалы к путеводителю по колчеданному месторождению Урала. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 91 с.
3. *Прокин В.А., Буслаев Ф.П., Исмагилов М.И. и др.* Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение. Свердловск: УрО РАН, 1988. 241 с.
4. *Ayupova N.R., Maslennikov V.V., Tessalina S.G., et al.* // Ore Geol. Rev. 2017. V. 85. P. 107–130.
5. *Campbell I.H., Leshner C.M., Coad P., et al.* // Chem. Geol. 1984. V. 45. P. 181–202.
6. *Genna D., Gaboury D., Roy G.* // Ore Geol. Rev. 2014. V. 63. P. 160–177.
7. *Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Herrington R.J., Danyushevskiy L.V., Large R.R.* // Ore Geol. Rev. 2012. V. 47. P. 5–41.
8. *Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Safina N.P., Tseluyko A.S., Melekesteva I.Yu., et al.* // Minerals. 2019. V. 9 (150). DOI: 10.3390/min9030150.
9. *Pan Yu., Fleet M.E., Barnett R.L.* // Canad. Miner. 1994. V. 32. P. 133–147.
10. *Smith M.P., Henderson P., Campbel L.S.* // Geochim. Cosmochim. Acta. 2000. V. 64. P. 3141–3160.
11. *Utzmann A., Hansteen T., Schmincke H.-U.* // Int. J. Earth Sci. 2002. V. 91. P. 661–679.
12. *Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P.* // Ore Geol. Rev. 2017. V. 85. P. 30–63.

**REE GEOCHEMISTRY AND MINERALOGY OF ORES
FROM THE TALGAN Cu–Zn MASSIVE SULFIDE DEPOSIT,
SOUTH URALS**

N. R. Ayupova^{1,2}, Corresponding Member of the RAS V. V. Maslennikov^{1,2}, K. A. Filippova¹

¹*Institute of Mineralogy, Uralian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Chelyabinsk, Russian Federation*

²*South Urals State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

Received February 14, 2019

The high REE contents (57,23-561,2 ppm) of thin-layered sulfide ores of the Talgan Cu–Zn massive sulfide deposit (South Urals) are related to the presence of REE minerals: galgenbergite, parisite, bastnesite, synchysite and xenotime, which were found for the first time in massive sulfide deposits of the Urals. These minerals occur in quartz-carbonate-chlorite matrix of sulfide layers, as well as pyrite nodules and sub- and euderal crystals. The chondrite-normalized REE patterns are enriched in LREEs relatively to HREEs and the presence of weak negative cerium and positive europium anomalies. The LREE contents decrease by an order of magnitude and the LREE and HREE contents become similar with decreasing amount of hyaloclastic material in sulfide layers. The REEs for the formation of REE minerals are derived from mixed carbonate-hyaloclastic and ore material during the formation of layered sulfide ores.

Keywords: REE, carbonates and fluor carbonates of REE, xenotime, Cu–Zn massive sulfide ore deposit, the Urals.